FRANKLIN INSTITUTE LIBRARY
PHILADELPHIA

Class 691.5 Book V.582 cop 2 Accession 52092

Given by Mr Morris Ebert

Bound Feb 3/96.

MORRIS EBERT,
302 Walnut Street.
PHILADELPHIA

OCT 31 1901

Digitized by the Internet Archive
in 2015

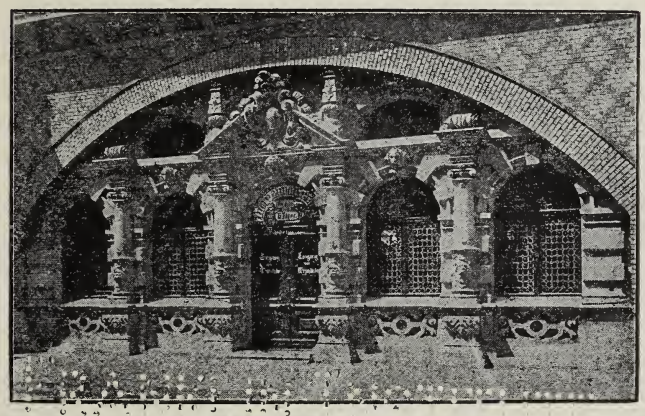
https://archive.org/details/derportlandcemen00vere

Der

Portland-Cement

und

seine Anwendungen im Bauwesen.



Bogenfüllung aus Cementstein am Restaurant „Zum Franziskaner“ in Berlin.

Bearbeitet

im Auftrage

des **Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten.**

BERLIN.

Kommissions-Verlag von Ernst Toeche.

1892.

CONS
TP
883
V47
1892

Uebersetzungsrecht vorbehalten.

Inhalts-Verzeichniss.

		Seite
I.	**Einleitung, insbesondere Geschichtliches über den Portland-Cement und seine Verwendungen**	1—16
II.	**Eigenschaften des Portlandcements**	17—31
	a. Begriffserklärung	17
	b. Chemische Zusammensetzung	17
	c. Farbe. Struktur. Spezifisches Gewicht	19
	d. Abbinden	19
	e. Erhärtung und Festigkeit	21
	f. Volumenbeständigkeit	24
	g. Verhalten gegen chemische Einflüsse	27
	h. Verhalten gegen hohe Hitze und Kälte	29
	i. Vorzüge des Portlandcements gegenüber anderen hydraulischen Bindemitteln	31
III.	**Zusätze zum Cement und deren Einflüsse**	32—35
	a. Zusatz von Gips	32
	b. Zusatz von Farben	32
	c. Betrügerische Beimischungen	33
IV.	**Prüfung des Portlandcements**	36—58
	Normenprüfung; Geschichte; Wortlaut der Normen	36
	Geräthschaften zur Prüfung und zwar:	
	Formen für Probekörper	44
	Hammerapparat von Dr. Böhme	45
	Zerreissungsapparat	48
	Hydraulische Presse von Brinck & Hübner	49
	Prüfungsapparat von Suchier	50
	Hebelpresse von Schickert	51
	Schweizerischer Normalapparat zur Prüfung der Druckfestigkeit nebst Control-Apparat	54
	Allgemeine Bemerkungen zur Normenprüfung	57
V.	**Anwendungen des Portlandcements**	59—70
	a. Auswahl des Cements	59
	b. Der Sand	59
	(Sandwasch-Maschinen von Gresley-Ruge S. 60.; Schwingsieb von Schlickeysen S. 163.)	
	c. Mischungsverhältnisse des Mörtels	61
	d. Zubereitung und Verarbeitung des Mörtels	62
	e. Mörtelausbeute bei Mauermörtel (S. auch S. 126)	63
	f. Portlandcement als Wassermörtel	64
	g. Portlandcement als Luftmörtel	64
	h. Cement-Kalk-Mörtel	65
	i. Wasserdichte Mörtel	67
	k. Cementputz, Anstrich und Bemalung	67

Seite

VI. **Geschichtliches über Beton** . . . . . 71—77

VII. **Eigenschaften des Betons und Rücksichtnahme auf dieselben bei Bauten** . . . . . 78—98

Formungsfähigkeit 78
Volumenänderungen 79
Formengebung bei Betonkörpern 82
Haarrisse 86
Adhäsionsfestigkeit 86
Abnutzungsfestigkeit 86
Einwirkung von Hitze 88
Druckfestigkeit 89
Biegungsfestigkeit 93
Scherfestigkeit 96
Gewicht 98

VIII. **Allgemeines über Eignung des Betons für Bauzwecke** . . . . . 99—104

IX. **Verwendungs-Formen von Beton und vergleichende Beurtheilung derselben.**
Nass- u. Trockenbetonirung; Blockbau; Stampfbeton. . . . . 105—120

X. **Beton-Bereitung und -Verarbeitung** . . . . . 121—182

a. Beschaffenheit der Materialien 121
b. Menge der Materialien 123
c. Beton-Bereitung und -Verarbeitung 130
d. Mörtel- und Beton-Bereitungs-Maschinen . . . 142
e. Geräthe zum Schütten von Beton unter Wasser und zum Versetzen von Blöcken 152
f. Einrüsten von Betongewölben 159
g. Herstellung von Betonschotter mit Maschinen; Sandsieb von Schlickeysen 161
h. Platten, Estriche und Cementwaaren 164
i. Quellendichtung mit Cement und Trockenlegung von Mauern 177

XI. **Ausführungen in Betonbau. Beispiele** . . . . . 183—286

a. Fundirungen 186
b. Schleusen, Wehre und Trockendocks 201
c. Beton als Füllmaterial (todte Last.) 207
d. Einige besondere Ausführungen in Beton . . . 212
e. Molen und Wellenbrecher 225
f. Baulichkeiten zum Zweck der Wasserversorgung und verwandte Gegenstände 237
g. Betongewölbe (-Kappen; auch Aquadukte) . . . 251
h. Verschiedene Ausführungen in Beton aus dem Gebiete des Hochbaues 277
i. Einiges Besondere über die Verwendung von Cement bei Hochbauten 285

XII. **Monier's Bauweise** . . . . . 288—300

I. Einleitung,

insbesondere

Geschichtliches über den Portland-Cement und seine Verwendungen.

Obwohl schon die Römer hydraulische Mörtel zu ihren Wasserbauten verwendeten, herrschte doch über das Wesen der im Wasser erhärtenden Mörtel bis in die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts völliges Dunkel und erst dem englischen Ingenieur John Smeaton war es vorbehalten, über die Ursachen der hydraulischen Erhärtung einiges Licht zu verbreiten.

Als Smeaton die Aufgabe gestellt war, den zerstörten Eddystone-Leuchtthurm wieder aufzubauen und er sein Augenmerk genauer auf die Natur des zu verwendenden Mörtels richtete, machte er — im Jahre 1756 — die Beobachtung, dass diejenigen Kalksorten, welche nach dem Brennen einen im Wasser erhärtenden Mörtel lieferten, beim Auflösen in Salpetersäure stets einen gewissen Antheil von unlöslicher Masse zurückliessen, welchen er — ganz richtig — für Thon und Sand erklärte.

Von der Erkenntniss der Thatsache, dass der Thongehalt eines Kalksteins seine Fähigkeit im Wasser zu erhärten bedingt, bis zur Herstellung eines künstlichen hydraulischen Kalkes verging aber noch eine geraume Zeit und man begnügte sich lange Jahre damit, aus den in der Natur vorkommenden thonhaltigen Kalksteinen hydraulischen Kalk darzustellen. Die besten Sorten wurden zuerst in England erzeugt (James Parker 1796) und englischer oder römischer Cement, Romancement genannt, was wohl besagen sollte, dass dieser Cement ebenso guten Wassermörtel liefere wie der Puzzolan-Mörtel*) der alten Römer. Dieser sehr rasch abbindende Cement ward schon damals so stark gebrannt, dass er nicht mehr mit Wasser gelöscht, sondern erst gemahlen und dann mit Wasser angemacht wurde, ähnlich wie es jetzt mit dem Portlandcement allgemein geschieht.

Die ersten Versuche, durch Brennen eine künstliche Mischung von kohlensaurem Kalk (Kreide) und Thon Cement herzustellen wurden in Frankreich, namentlich von Vicat zu Anfang des 19. Jahrhunderts gemacht. Obwohl diese Versuche guten Erfolg hatten, so scheint es doch, dass die Franzosen — wahrscheinlich in Folge der Kriegs-Unruhen der damaligen Zeit — die Vicat'schen Erfahrungen auszunutzen nicht die nöthige Musse fanden und wir sehen zunächst die Engländer in der Herstellung der künstlichen hydraulischen Kalke die Franzosen überflügeln.

Bereits vom Jahre 1810 ab wurden in England mehrere, die Herstellung künstlicher hydaulischer Kalke betreffende Patente genommen, jedoch ohne sonderlichen Erfolg. Erst Joseph Aspdin, einem Maurer zu Leeds, gelang es, nach langjährigen Versuchen, im Jahre 1824 durch Brennen

*) Dieser bestand aus Kalk, welchem Puzzolane (pulvis Puteolanus) von Puteoli (jetzt Puzzuoli in der Nähe des Vesuv) zugesetzt wurde.

einer bestimmten Mischung von gelöschtem Kalk und Thon bei sehr hoher Temperatur einen vorzüglichen hydraulischen Kalk zu erzeugen, welchen er **Portland-Cement** nannte, weil der erhärtete Cement dem in England vielfach zu Bauten verwendeten, sehr geschätzten Portlandstein in Bezug auf Farbe und Festigkeit gleichkommen sollte.

Weitere Versuche des Generals Pasley aus Kreide und dem nachmals als Rohmaterial berühmt gewordenen Medway-Thon (Septarien-Thon), der sich an der Mündung des Medway-Flusses in die Themse findet) Portlandcement zu erzeugen, führten ebenfalls zu günstigen Erfolgen und so sehen wir bereits gegen das Ende der zwanziger Jahre in England die ersten Portlandcement-Fabriken entstehen.

Bis zum Jahre 1850 beherrschte dann das englische Fabrikat den Markt vollständig. Indessen hatte bereits zu Ende der vierziger Jahre die Fabrikation von Portlandcement auch auf dem Festlande (Boulogne) festen Fuss gefasst.

In Deutschland wurde anfangs der fünfziger Jahre von Dr. Bleibtreu, in Gemeinschaft mit Consul Gutike in Züllchow bei Stettin die erste kleine Versuchsanlage begründet, welche im Jahre 1855 zur Errichtung der Stettiner Portland-Cementfabrik (Delbrück & Lossius) führte.

Diese Fabrik, welche ebenfalls auf das Vorkommen von Septarien-Thon an der unteren Oder und Kreide (die von der Insel Wollin bezogen wurde) sich gründete, war auf ein Jahreserzeugniss von 30000 Fass eingerichtet worden; doch hegte man Besorgnisse, ob man eine so grosse Production würde absetzen können. Als jedoch der Erfolg den Versuch rechtfertigte, zumal man in Stettin von vorn herein einen Cement erzeugte, welcher dem englischen an Güte gleichkam, entstand bald eine Anzahl weiterer Eabriken: die Bonner Fabrik zu Obercassel, die Heyn'sche in Lüneburg, die Grundmann'sche in Oppeln, die Quistorp'sche in Lebbin (Insel Wollin), die Mannheimer Fabrik, die Fabrik Stern in Finkenwalde bei Stettin, die Dykerhoff'sche Fabrik in Amöneburg bei Biebrich, die Fabrik von Leube in Ulm. — Im Jahre 1877 zählte man bereits gegen 30 deutsche Portland-Cementfabriken. —

Das Verfahren der Fabrikation von Portland-Cement ist nicht überall das gleiche, und je nach der Beschaffenheit der Rohmaterialien (Kreide, Wiesenkalk, Kalkstein, Mergel, Thon) wenden die verschiedenen Fabriken etwas abweichende Fabrikations-Methoden an, nämlich das Schlämmverfahren, das Trockenverfahren oder eine Vereinigung beider. Die drei Abschnitte der Fabrikation: Herstellung einer innigen Mischnng von Kalk und Thon (etwa 75% kohlensaurer Kalk auf 25% Thon), Brennen bei sehr hoher Temperatur (Sinterung) und Mahlen des gebrannten Cements, sind jedoch allen Portlandcement-Fabriken gemeinsam.

Nur ganz ausnahmsweise finden sich in der Natur innige Mischungen von Kalk und Thon, welche unmittelbar zu Portlandcement gebrannt werden können: Perlmoos in Tyrol, Noworossisk am schwarzen Meer, Gebrüder Leube, Garteaau bei Salzburg.

Zum Brennen der in richtigem Verhältniss gemischten, fast allgemein zu sogen. Ziegeln geformten und getrockneten Rohmasse benutzt man Schachtöfen (mit unterbrochenem Betrieb), oder Oefen mit ununterbrochenem Betrieb (Ringöfen, Etagenöfen u. s. w.).

Zum Zerkleinern des sehr harten Brenngutes dienen Steinbrecher, Walzwerke, Mahlgänge, Kugelmühlen u. s. w. —

Bis zum Jahre 1860 war die Erzeugung von Portlandcement eine verhältnissmässig geringe. Von da an nahm sie jedoch rasch an Umfang zu und insbesondere hat die deutsche Portlandcement-Industrie seit dem Ende der siebziger Jahre einen ausserordentlichen Aufschwung genommen. Es lässt sich dies am besten aus der folgenden kleinen Tabelle erkennen, welcher die jährlich stattfindenden Selbsteinschätzungen der deutschen Cementfabrikanten zu Grunde liegen. (Vergl. die Protokolle des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1878—1891).

Jahr	Anzahl der Fabriken	Erzeugung Fässer zu 170 kg	Jahr	Anzahl der Fabriken	Erzeugung Fässer zu 170 kg
1877	29	2 400 000	1886	42	5 700 000
1882	32	3 050 000	1887	45	7 050 000
1883	34	4 000 000	1888	52	7 950 000
1884	37	4 700 000	1889	60	8 800 000
1885	42	5 000 000	1890	60	9 150 000

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass die Zahl der Portlandcement-Fabriken in Deutschland innerhalb des kurzen Zeitraumes von 14 Jahren sich nahezu verdoppelt und die erzeugte Menge sich nahezu vervierfacht hat.

Ehe jedoch die deutsche Cement-Industrie solche Erfolge errang, wie sie sich in den Zahlen der Tabelle aussprechen, hatte sie Hindernisse mancherlei Art zu besiegen.

Die Anlage von Eisenbahnen und Häfen, welche den Verbrauch des Cements in Deutschland so erheblich vermehrte, war es gleichzeitig, welche die deutsche Cement-Industrie unter dem Drucke einer empfindlichen Konkurrenz Seitens der englischen Fabriken hielt. Die niedrigen Seefrachten und der Grossbetrieb in der Heimath des Portland-Cements zogen fortwährend grosse Mengen des englischen Erzeugnisses nach den deutschen Küstenplätzen und ein erheblicher Theil davon wurde, begünstigt durch Tarifmaassnahmen der Eisenbahnen, welche zur Hebung des Verkehrs der Hafenplätze erlassen waren, weit ins Binnenland hinein versendet. Bei der relativen Entlegenheit der deutschen Portland-Cement-Fabriken von den grossen Küstenplätzen der Nordsee, Hamburg und Bremen u. s. w., machte sich gerade hier der englische Mitbewerb stark geltend und hat auch bis heute nicht völlig verdrängt werden können. Desgleichen hat die tief ins deutsche Binnenland hinein reichende Wasserstrasse des Rheins in früheren Jahren englischer Waare weit ins Innere von Deutschland hinein Zugang verschafft, ist hier aber seitdem der Konkurrenz mit den am Rhein und an mehreren Punkten Süddeutschlands entstandenen Fabriken gewichen.

Der vieljährige Wettkampf ist den deutschen Fabriken um so schwerer geworden, als sie, wenigstens früher, dem viel gehegten Vorurtheil sich gegenüber sahen, welches der Waare ausländischen Ursprungs, insbesondere der englischen Waare, einen Vorzug vor der heimischen beilegt. Dank der durch fortwährenden Wettkampf angespannten und lebendig erhaltenen Anstrengung der deutschen Fabriken, den vervollkommneten Fabrikations-Methoden und Dank der unablässigen wissenschaftlichen Arbeit einer grossen Zahl forschender Kräfte, welche sich in den Dienst dieser Industrie gestellt haben, ist es gelungen, dieses Vorurtheil endlich zu überwinden.

Aber neben den mit grossen Machtmitteln kämpfenden englischen Fabriken sind der deutschen Portlandcement-Industrie Wettbewerbe minder mächtiger Art auch in continentalen Nachbarländern entstanden. Es rechnen hierher insbesondere Oesterreich und die Schweiz, in deren Gebieten sich in den letzten Jahren die Portlandcement-Industrie zu nicht unbedeutendem Umfange entwickelt hat, theilweise begünstigt durch die grossen zollpolitischen Aenderungen, welche in fast allen Staaten Europas vor reichlich einem Jahrzehnt Platz gegriffen und seitdem einen immer grösseren Umfang erreicht haben.

Zwei Umstände sind es, welchen es zuzuschreiben ist, dass trotz des scharfen Mitbewerbes in der eigenen Heimath die deutsche Portland-Cement-Industrie immer mehr erstarkt und immer weiter an Ausdehnung zugenommen hat.

Diese beiden Umstände sind der erheblich gestiegene inländische Verbrauch von Portland-Cement und die Gewinnung grosser ausländischer Absatzgebiete für die deutsche Waare.

Was zunächst den Absatz ins Ausland anbetrifft, so erstreckt sich derselbe nur theilweise auf die europäischen Nachbarländer des deutschen Reiches, zum grösseren Theil auf überseeische Länder in allen Welttheilen. Regelmässige Abnehmer bilden die um die Ostsee gruppirten fremden Länder, alsdann das südliche Russland, die Schweiz sowie Belgien und Holland; der Absatz in europäischen Ländern bleibt aber wahrscheinlich gegen denjenigen nach überseeischen Ländern zurück. Unter diesen sind es namentlich die Vereinigten Staaten von Nord-Amerika, welche bisher ein Haupt-Absatzgebiet für Portland-Cement bilden. Nicht unbedeutende Mengen von deutschem Portland-Cement gehen auch nach den Ländern am Stillen Ocean, insbesondere nach den grösseren Hafenplätzen des australischen Kontinents, sowie nach Japan und China.

Grösseren Werth als auf den, von mancherlei, sich der Voraussicht entziehenden und von mancherlei unbestimmten Faktoren abhängigen Auslands-Absatz hat die deutsche Cement-Industrie auf den Inlands-Consum und dessen Vermehrung zu legen, weil derselbe die Bedingungen grösserer Stabilität als der Absatz nach dem Auslande in sich enthält. Auf diesem Gebiete sind aber auch im letzten Jahrzehnt erhebliche Erfolge zu verzeichnen.

Der Verbrauch von Cement (anfänglich Roman-Cement) zu allerhand Zwecken, wie z. B. Estrichen und Platten, schmückenden Bautheilen, Bassins, Gefässen für den Wirthschaftsbedarf, wie Trögen, Kübeln, Krippen u. s. w., ist in Süddeutschland ein alt eingebürgerter und vielfach geübter; in Norddeutschland, namentlich im nordöstlichen Deutschland, hat derselbe aber erst in den letzten Jahren einige Ausdehnung gewonnen, weil hier verschiedene Umstände hinderlich gewesen sind.

Zwar hatte schon zu Anfang der 60 er Jahre Becker durch seine Schrift: „Praktische Anleitung zur Anwendung der Cemente“, auf vielfache Gelegenheiten von Portland-Cement mit Nutzen Gebrauch zu machen, hingewiesen, erzielte damit jedoch nur geringe Erfolge. Auch andere Schriftwerke von hoher wissenschaftlicher Bedeutung, wie z. B. das bahnbrechende Buch von Dr. Michaelis: „Die hydraulischen Bindemittel“ erreichten nicht denjenigen Grad von Erfolg, der von ihnen hätte erwartet werden können.

Theilweise war dies vielleicht aus dem Grunde der Fall, dass das frühere Fabrikat nicht immer strengen Anforderungen genügte, theils wohl aus dem anderen, dass in Folge unzureichender Schulung der Handwerker und

Arbeiter oft mangelhafte Verarbeitung des Cements stattfand und in Folge davon Fehlschläge eintraten, theils endlich weil der Preis des Portlandcements ein hoher war, wenigstens so erschien, indem man noch nicht gelernt hatte, den Cement sparsam und gleichzeitig gut zu verarbeiten.

Es ist ferner hier noch einer etwas auffälligen Thatsache Erwähnung zu thun: Der Architektur, welcher in jener Zeit in weiten Gegenden Deutschlands das Gefühl für Wahrheit in der Erscheinung stark geschwunden war, und welche kein Bedenken trug, Bauglieder, die ihrer Form nach nur für Ausführung in Natursteinen berechnet waren, in getriebenem Zink, in Holz und Kalkputz nachzuahmen (Gesimse, Balluster, Bekrönungen von Thür- und Fenster-Oeffnungen, Quaderungen) und durch Auftragen eines steinfarbenen Anstrichs die Täuschung vollständig zu machen, erschien die Benutzung von Cement zu den gedachten Zwecken als ein Verstoss gegen das Gesetz der „Wahrheit in der Form." Während man, sehr eigenthümlicherweise, Zink und Holz als allezeit dienstwillige Surrogate sich gefallen liess, betrachtete man Cement etwa wie ein „unerlaubtes" Surrogat. Wahrscheinlich ist diese Auffassung in vielen Fällen durch den Preis stark beeinflusst worden, indem andernfalls nicht verständlich erscheint, dass man zwischen dem durch Brand erzeugten Ziegelstein und dem gleichfalls mit Hülfe von Feuer erzeugten „Cementstein" eine Gegensätzlichkeit schuf, dass man den durch Naturthätigkeit entstandenen Sandstein als etwas Anderes ansah, als den aus nahezu denselben Bestandtheilen unter Benutzung chemischer und mechanischer Prozesse entstandenen „Kunst-Sandstein".

Wo die Architekten, wie z. B. in den Küstengegenden der Nordsee, insbesondere in der Umgebung der grossen Seeplätze, in langer Uebung Gelegenheit gehabt hatten, die ausgezeichnete Verwendbarkeit des Portlandcements zu mancherlei Bautheilen und Bauzwecken kennen und schätzen zu lernen, war man allerdings von diesem Vorurtheil frei und benutzte Cement überall, wo sich passende Gelegenheit bot, indem man sich einzig von dem zutreffenden Gesichtspunkte leiten liess: für jeden Zweck sich desjenigen Materials zu bedienen, welches die Zweckerfüllung mit dem geringsten Aufwande von Mitteln versprach.

Indess hatte die Abneigung gegen die Verwendung von Cement vielfach neben äusseren Bedenken, die man vom „Standpunkte der Form" erhob, auch in Bedenken konstruktiver Art ihre Ursache, und hier ist es insbesondere das ablehnende Verhalten Berlins gewesen, welches ausserordentlich hemmend gewirkt hat.

Es ist nicht bekannt, auf welche Ursachen, der etwa in den sechsziger Jahren gefasste Beschluss der Berliner Baupolizei: „dass Konstruktionen, deren Haltbarkeit allein auf der Festigkeit des Mörtels beruhe, nicht zuzulassen seien", zurück kommt. Thatsache ist nur, dass, diesem Beschlusse entsprechend, vielfache Versuche, Ausführungen in Beton-Konstruktionen an die Stelle von solchen zu setzen, welche gewöhnlich in Mauerkonstruktion hergestellt zu werden pflegen, auf den unüberwindlichen Widerstand der Berliner Baupolizei-Behörde gestossen sind, und — was schlimmer — dass das Beispiel, was diese Behörde damit gegeben, von den Baupolizei-Behörden der übrigen preussischen Städte nachgeahmt worden ist. Auch heute noch, wo in Berlin längst andere Anschauungen Platz gegriffen haben, wo man Betonkonstruktionen, wenn man denselben auch noch ein gewisses Misstrauen entgegen bringt, doch an vielen Stellen zulässt, an denen sie früher

ausgeschlossen waren, wird in anderen norddeutschen Städten noch vielfach an der Nichtzulassung von Betonkonstruktionen festgehalten!

Man würde indessen Unrecht thun, wenn man das Verhalten der Behörden diesen Konstruktionen gegenüber „schlechthin“ tadeln, und etwa annehmen wollte, dass demselben Willkür zu Grunde läge. Das ist völlig ausgeschlossen und es ist nur erlaubt, von einer etwas zu weit getriebenen Vorsicht zu sprechen. Aber ein gewisses Maass derselben ist auch unbedingt nöthig, wenn üble Erfahrungen und Schädigungen wichtiger Zweige des Gemeinwohls, welche der Obhut der Polizei anvertraut sind, ausbleiben sollen. Wie die Herstellung von gutem Mauerwerk ein gutes Material und eine sachverständige Ausführung bedingt, so ist das Gleiche auch für Konstruktionen der Fall, deren Haltbarkeit von der Beschaffenheit und der Verarbeitungsweise des Cements abhängt.

Denn gute Cement- (Beton-) Konstruktionen fordern gutes Material und gute Verarbeitung!

Während nun aber die Beschaffenheit von Ziegelsteinen sehr leicht bestimmbar ist, gewöhnlich schon durch den blossen Augenschein erkannt wird, gehören zur sicheren Beurtheilung von Portlandcement relativ umständliche Proben, welche zuverlässig nur von Personen ausgeführt werden können, die in solchen Arbeiten eine gewisse Uebung erlangt haben. Und während die Herstellung von Mauerwerk aus Ziegelsteinen der Regel nach nicht mehr als die gewöhnliche Sorgfalt des gewöhnlichen Handwerkers erfordert, bildet die Herstellung guter zuverlässiger Betonkonstruktionen häufig genug eine sogen. Spezialität, welche Sache eingeübter und zuverlässiger Arbeiter ist. Da letztere nicht an jedem Orte zur Verfügung stehen, da Bauten in Cement, von denen eine höhere Qualität verlangt wird, vorläufig nur von einer beschränkten Anzahl von Geschäften geübt werden — abgesehen von den Fällen, in denen sachverständige Kräfte die Mühe auf sich nehmen, mit der strengen Ueberwachung noch ungeschulter Kräfte sich zu beladen, dieselben „anzulernen,“ — hat es einer Reihe von Jahren bedurft, bis sich eine ausreichende Anzahl leistungsfähiger Geschäfte der Pflege des Cementbaues angenommen hat. Da aber solche heute schon einigermaassen zahlreich über ganz Deutschland verbreitet sind — wenn auch im Süden mehr als im Norden — sind einzelne der Schwierigkeiten, welche der ausgedehnteren Benutzung der vorzüglichen Eigenschaften des Cements bisher im Wege standen, wesentlich gemildert; doch ist es Thatsache, dass weitere Anstrengungen nothwendig und lohnend sind.

Allen, welche diesen Zweck verfolgen, welche dem Cementbau, am rechten Orte angewendet, eine immer weitere Ausdehnung zu verschaffen streben, muss daran gelegen sein, die Kenntniss der Eigenschaften des Cements und die Kenntniss der richtigen Benutzungs- und Verarbeitungsweise desselben, sowie dessen, was nothwendig ist, um sich die Vortheile des Cementbaues ganz und voll zu sichern, in immer weitere Kreise zu tragen.

Dies ist eins der Hauptziele gewesen, welches sich der im Jahre 1877 begründete

„Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten“,

welchem mit vereinzelten Ausnahmen alle deutschen Fabriken sich angeschlossen haben, und der ausser seinen deutschen Mitgliedern heute in europäischen und aussereuropäischen Ländern auch noch fast 20 Portlandcement-Fabriken zu seinen Mitgliedern zählt, gesetzt hat.

Die Mittel, welche er dazu anwendet, sind der mündliche Ideen-Austausch in den jährlich abzuhaltenden, zahlreich auch von Nichtmitgliedern besuchten General-Versammlungen, die Verbreitung der gedruckten Protokolle der General-Versammlungen, die Veröffentlichung wichtiger neuer Thatsachen und Entdeckungen aus den Gebieten der Wissenschaft und der Praxis des Cements und des Cementbaues. Vor allem aber ist es die vom Verein frühzeitig in die Hand genommene Aufgabe der Schaffung von

Normen über die einheitliche Lieferung, Beschaffenheit und Prüfung von Portland-Cement,

gewesen, welche in den weitesten Kreisen aufklärend gewirkt, die Kenntniss der richtigen Behandlungs- und Verarbeitungsweise in weite Kreise des Publikums getragen und so das Anwendungsgebiet des Portland-Cements so erheblich erweitert hat, wie es aus den auf S. 3 mitgetheilten Zahlen über die Entwickelung der deutschen Portland-Cement-Industrie gefolgert werden kann.

Durch den Erlass der — später zeitgemäss abgeänderten und weiter entwickelten — Normen, hat, was den wissenschaftlichen Standpunkt der gesammten Cementtechnik anbetrifft, Deutschland wohl zweifellos die erste Stelle unter allen Ländern, welche Cement in nennenswerthen Mengen erzeugen, sich verschafft, und sein Beispiel hat zu gleichartigem Vorgehen in anderen Ländern Veranlassung gegeben. Ihm nachfolgend sind später in Oesterreich, der Schweiz und in Russland ebenfalls Normen erlassen worden, die sich in einzelnen Punkten zunächst von den deutschen mehr oder weniger weit entfernten, zur Zeit aber mit denselben allgemein in naher Uebereinstimmung stehen.

In Frankreich, England, Amerika, Australien und in noch anderen Ländern, in welchen ein grösserer Verbrauch von Cement stattfindet, bestehen so feste und umfassende Normen, wie die deutschen bisher nicht; man hält sich dort an gewisse Regeln, welche durch Tradition und Weiterentwickelung im Laufe der Zeit zu allgemeinerer Anerkennung gelangt sind.

Indem die Normen Gesetze für die Fabrikanten bildeten, wirkten sie als Sporn zur Strenge gegen sich selbst und drängten daurch zu immer weiteren Vervollkommnungen des Fabrikats, welche, wie gesagt werden darf, ganz überwiegend dem Publikum zu Gute gekommen sind. Die Thatsache:

> dass heute sämmtliche deutschen Fabriken, welche dem Verein angehören, ein Erzeugniss liefern, welches in seinen Haupteigenschaften nicht unter einer gewissen, den Zwecken des Materials vollauf genügenden Grenze liegt,

ist eine in der Grossindustrie wahrscheinlich nur selten vorkommende, und vom Standpunkt der Konsumenten hoch willkommen zu heissende. Denn sie gewährt dem Käufer Sicherheit für die Möglichkeit des Bezuges einer Waare von dem nothwendigen Gleichmässigkeitsgrade an jedem Orte und zu jeder Zeit.

Erhöht wird diese Sicherheit durch die Uebung einer, dem Vereins-Vorstande als Vertrauenssache übertragenen scharfen Kontrolle über die Fabriken, in Bezug sowohl auf Fälschungen der Waare durch Zusatz von minderwerthigen Stoffen, sowie in Hinblick auf die Möglichkeit der Verarbeitung von Rohmaterialien, durch deren Benutzung die Beschaffenheit der Waare in einer Weise verändert werden könnte, welche mittelst des gewöhnlichen Probungsverfahren nicht erkennbar ist.

Was geschehen kann, um dem Publikum Sicherheit für den Bezug einer gewissen Qualität des Portland-Cementes zu verschaffen, ist durch den Erlass der Normen und die Einrichtung einer ständigen Kontrolle über die Fabriken geschaffen. Es ist aber, um unrichtigen Auffassungen vorzubeugen, nicht überflüssig hinzu zu fügen, dass die Handhabung der Normen keineswegs die Uebereinstimmung der von den verschiedenen Fabriken erzeugten Waare, und damit Verlass auf die Güte derselben auch ohne vorherige Prüfung, verbürgt, dass vielmehr für diese nur eine untere Grenze, aber keineswegs eine obere gezogen ist, und jeder Fabrik freigestellt bleibt, über die untere (Normen-) Grenze so weit hinaus zu gehen, als es die Gunst ihrer Lage, die Beschaffenheit ihres Rohmaterials und die Vollkommenheit der Fabrikations-Einrichtungen ihr gestatten. Es kann desgleichen keine Fabrik Sicherheit für etwaige Qualitäts-Verringerungen übernehmen, welche ihre Waare beim Durchgang durch die Hände des Zwischenhandels erleidet, und es ist daher bei allen Garantieen, welche der heutige Zustand der Fabrikation bietet, dennoch nothwendig, den Einkauf von Cement, wenn auch nicht gerade als Vertrauenssache, so doch mit einem gewissen Grade von Vorsicht zu behandeln, um vor Gefahren oder Schaden gesichert sein zu können.

Unter der Wirksamkeit der genannten Faktoren auf der einen Seite, und einem, wie bekannt, etwa in der Mitte der 70er Jahre eingetretenen, bisher kaum jemals dagewesenen Aufschwunge im Bauwesen andererseits, welcher nicht nur eine Schaffens-Vermehrung und das Verlangen nach grösserer Raschheit in der Ausführung der Bauten mit sich brachte, sondern auch einen grösseren Formenreichthum und eine reichere Ausbildungsweise der Bauten forderte, richtete sich die Aufmerksamkeit der Baumeister und der im Hochbau schaffenden anderweiten Kräfte auch auf den Cement. Während im Kreise der dem Wasserbau obliegenden Kräfte die unschätzbaren Eigenschaften dieses Materials sich längst Anerkennung errungen hatten und man Cement zu keinem wichtigeren Bau mehr missen konnte, noch mochte, hatte sich, wie schon oben mitgetheilt worden ist, der Hochbau demselben gegenüber bislang vielfach ablehnend verhalten.

Das änderte sich nunmehr und es entstanden auch in Norddeutschland in kurzer Aufeinanderfolge eine Anzahl von Geschäften, welche unter dem Namen „Kunststeine“ oder „Kunstsandsteine“ zunächst ungefärbte oder einfarbig gehaltene Fliesen zu Flurbelägen, Tischplatten, ferner Treppenstufen, Gesimsstücke, Kapitelle, kleine Statuen, Balluster und schmückende Bautheile noch anderer Art, in dem das Hauptmaterial Cement war, dem Architekten zur Verfügung stellten.

Diese ersten Erzeugnisse waren aber vielfach minderwerthiger Art. Theils aus Unkenntniss, theils in der Absicht, billig zu produziren, wurden hien und da Zusätze aus weniger kostspieligem Material (als namentlich Gips) gemacht; oder man wählte den — für solche Zwecke ungeeigneten — Cement mit kurzer Bindezeit. Anderweit wurde gefehlt, indem man die Mörtelmischung entweder zu fett, oder zu nass nahm, oder indem man die Stücke in wandelbaren Formen goss, oder endlich sie ohne zuvorige ausreichende Pflege und Erhärtung zum Gebrauche abgab. Die Zuhilfenahme von Pressung (oder Einstampfen), welche zur Erzielung guter Leistungen in der Regel nicht entbehrt werden kann, wurde bei den Leistungen jener ersten Zeit meist unterlassen.

Indessen haben die Lernjahre sich nicht lang ausgedehnt. Als man

dem neuen Material erst einige Aufnahme gewährte, enwickelte sich bald eine heilsame Konkurrenz, welche zur Erkennung der Mängel der bisherigen Fabrikationsweisen und zur Abstellung derselben zwang. Das Publikum lernte die werthvolle Waare von der minderwerthigen unterscheiden und stellte Bedingungen in Bezug auf Schönheit und Solidität derselben, denen die Fabriken genügen mussten. Rasch namentlich vervollkommnete sich die Fabrikation der Fliesen und fugenlosen Fussboden-Beläge (Terrazzo), indem an Stelle der ursprünglichen groben und wenig haltbaren Waare, gemusterte mit reicher Farbenskala getreten sind, welche in den vollendeteren Ausführungsweisen, die heute bereits an einer grösseren Zahl von Fabrikationsstätten gepflegt werden, den Wettampf mit den feinern Erzeugnissen der keramischen Industrie erfolgreich aufgenommen haben und durchführen.

Im Vergleich dazu hat die Benutzung von schmückenden Bautheilen sich weniger rasch Bahn gebrochen. Insoweit solche Theile am Aeusseren von Gebäuden zur Benutzung kommen, pflegen sie dem Witterungs-Wechsel und sonstigen Einflüssen in besonderem Maasse ausgesetzt zu sein, so dass Form und Qualität der Stücke gesteigerten Anforderungen zu genügen haben. Ob sie vollwerthig sind oder nicht, kann sich auch erst in einer längeren Reihe von Jahren herausstellen und es ist deshalb ein gewisses Zögern, welches Seitens der Architekten der Benutzung von Cementwaaren, insoweit es sich um Bautheile der genannten Art handelte, wohl verständlich. Fabriken, welche sich die Aufgabe der Herstellung hochwerthiger, künstlerischen und technischen Anforderungen genügender Waare stellen, sind daher in Nord-Deutschland zwar heute noch nicht in grösserer Anzahl vertreten; ihre Zahl wächst aber zusehends in dem Maasse, als das Vertrauen der im Hochbau schaffenden Kräfte jenen Erzeugnissen seine Aufmerksamkeit zuwendet, nachdem in der verflossenen längeren Jahresreihe in Süddeutschland sowohl als in Norddeutschland ausreichende Gelegenheit zu Erprobungen desselben geboten gewesen ist, endlich als die Fälle vollständiger Bewährung selbst unter schwierigen Verhältnissen sich ersichtlich mehren.

Die Herstellung von Quadern oder Platten geringer Dicke, aus Cement zum Ersatz bei Hochbauten von Quaderungen oder Beplattungen aus natürlichen Bausteinen ist vereinzelt versucht worden, hat sich aber keinen grösseren Eingang zu verschaffen gewusst; wesentlich ist es wohl der Preis solcher Ausführungsweise, der die häufigere Anwendung derselben hindert. Für Ecken, Risalite, Einfassung von Oeffnungen in Ziegel- oder Putzbauten und ähnliche Zwecke beschränkteren Umfangs sind dagegen Quaderungen und Beplattungen aus Cement neuerdings sehr häufig benutzt worden. Es ist in solchen Fällen gerathen, Farbenzusätze zum Mörtel zu verwenden, um die unansehnliche grün-graue Färbung des Cements zu verbessern, oder es zu vermeiden, die Quadern mit Oelfarbe streichen zu müssen, wodurch die „Körnigkeit" des Ansehens derselben verloren geht.

Eine mehr rationelle Verwendungsweise als zur „Bequaderung" oder Beplattung findet Cement jedenfalls für den Zweck des Façadenputzes. Besonders gilt dies dann, wenn in den Façaden Gesimse und Umrahmungen durch „Ziehen" herzustellen sind, da für diese Zwecke der Cement erheblich im Vorzuge vor Kalkmörtel ist. Vermöge seiner kurzen Bindezeit erlaubt er eine grosse Raschheit der Arbeit, bei gleicher „Schärfe" mit den in Kalkputz gezogenen Gesimsen, während die Dauer

der Gesimse und des Putzes aus Cement diejenige des Kalkputzes u. s. w. wesentlich übertrifft. Ueber die nothwendigen Vorsichtsmaassregeln bei Ausführung solcher Arbeiten in Cement ist an anderen Stellen im Buche nachzulesen.

Wie der Cementputz den Kalkputz vielfach verdrängt hat, so macht auch der Cement-Estrich dem Estrich aus Asphalt heute vielfach Konkurrenz. Er steht dem letzteren in Bezug auf Wasserdichtigkeit gleich, leidet nicht an dem Uebelstande, beim Erwärmen weich zu werden und ist frei von den Schwierigkeiten, welche damit verbunden sind, Asphaltestrich an den Umfassungswänden von Räumen bezw. an Pfeiler und Säulen hinauf zu führen, wofür oft die Nothwendigkeit vorliegt.

Eine sehr erhebliche Ausdehnung hat neuerdings die Belegung von Gehwegen (Trottoiren, Bürgersteigen) mit Cement-Platten oder Cement-Estrich angenommen. In Süddeutschland ist dieser Geschäftszweig alt eingebürgert, in Norddeutschland aber erst in den letzten 5 Jahren von einer grossen Anzahl kleinerer Geschäfte mit Erfolg aufgenommen worden, nachdem sich die Gunst des Publikums den Cement-Trottoiren augenscheinlich zugewendet hat. Dabei wird die Ausführungsweise als (fugenloser) Estrich weniger oft als die „Beplattung“ angewendet, welch letztere vor dem Estrich den Vorzug voraus hat, dass sie den kleinen, nicht vermeidbaren Bewegungen (Erschütterungen u. s. w.) des Grundes zu folgen vermag, ohne dass unregelmässige Rissebildungen eintreten. Wo nicht eine ziemliche Unwandelbarkeit des Grundes besteht, wird daher Beplattung im Vorzuge sein, zumal dabei nothwendige Reparaturen und zwischendurch erforderliche Erneuerungen stark abgenutzter Stellen mit Leichtigkeit und von gewöhnlichen Arbeitern bewirkt werden können. Immerhin giebt es zahlreiche Beispiele guter Bewährung auch von Cementestrich, wenn derselbe nur mit Sachkenntniss und Vorsicht hergestellt ward. — In den Bürgersteig-Estrichen und Beplattungen hat der Cement sich ein Verwendungsgebiet von grösserer Bedeutung errungen.

Seit langer Zeit eingebürgert, ist die Verwendung von Cement zu Kellerfussböden und zur Trockenlegung von an Feuchtigkeit leidenden Wänden. Da aber hier, um den beabsichtigten Zweck mit Sicherheit zu erreichen, besonders weit gehende Sorgfalt geboten ist, können zu derlei Arbeiten nur Spezialisten herangezogen werden, welcher Umstand auf die Häufigkeit dieser höchst zweckmässigen Anwendungen etwas beschränkend wirkt. Trotzdem haben dieselben in den letzten Jahren erheblich zugenommen und dadurch, rückwirkend, in der Anzahl der Geschäfte, welche sich derlei Ausführungen widmen, Vermehrungen hervorgerufen.

Die hervor ragendsten Anwendungs-Gebiete, welche der Cement im Hochbau sich erobert hat, scheinen die Treppen und die Decken zu sein.

Die besondere Eignung, welche der Cement zu Treppen besitzt, ist einestheils in der Leichtigkeit, welche in der Formgebung der Treppen besteht, andererseits in der grossen Widerstandsfähigkeit desselben gegen die Einwirkungen des Feuers und endlich in der durch die Rauhheit der Oberfläche beförderten sicheren Begehbarkeit der Cement-Treppen begründet, welche mit gleichem Erfolg sowohl als „innere“ Treppen wie als Freitreppen ausführbar sind. Dabei bedürfen dieselben kein tragendes Eisengerüst, indem in ihnen, gleichwie bei den Steintreppen, das Konstruktions-Gerüst und die Füllform in demselben Stücke vereinigt sind. Es giebt keinerlei Schwierigkeiten in der Form des Treppenhauses, welche von grosser

Bedeutung sowohl bei hölzernen als bei steinernen Treppen werden könnten: Ob es sich um gerade oder gewundene Läufe, um Einlegung von Podesten, oder um regelmässigen oder unregelmässigen Grundriss des Treppenhauses handelt, ist für die Ausführung in Cement von viel weniger Belang, als bei der Ausführung in Holz, Stein oder Eisen. Dabei ist die Gefahr, beim Fallen auf der Treppe Beschädigungen zu erleiden, geringer auf der Cement-Treppe, als auf derjenigen aus Eisen oder Stein wenn dieser besondere Härte besitzt, weil den Treppenstufen aus Cement die überscharfen Kanten der Stufen aus Eisen, Marmor, u. s. w. fehlen. Da zu alledem die Cement-Treppe in der Ausführung billig ist, hat ihre Häufigkeit in der neueren Zeit erheblich zugenommen.

In noch höherem Maasse hat sich der Cementbau bei Decken-Konstruktionen eingebürgert, wozu mancherlei Umstände beigetragen haben. Zunächst gehört dahin das Streben nach Erreichung von Feuersicherheit der Decken, welches seinen ersten Ausdruck in der Anwendung eiserner Deckenbalken insbesondere für grosse eintheilige Räume in Fabriken, Werkstätten u. s. w. fand. Anfänglich schloss man die Gefache zwischen den Eisenbalken mit Ziegelkappen oder Wölbungen aus einem anderen feuersicheren Material und erst später gelangte man zu dem Ersatz der gemauerten Kappen durch eingestampften Cementbeton, welcher den Vortheil grosser Billigkeit neben dem anderen bietet, dass die Decke auf der Oberseite gleichzeitig den — fertigen — Fussboden bilden kann und in Hinsicht auf Widerstandsfähigkeit gegen Feuer den gemauerten Decken überlegen ist. Den Einwand, dass solche Decken reichlich schwer ausfallen, hat man später durch Verwendung von Beton, welcher mit porösem leichtem Material (Kohlenschlacke) angemacht ward, sowie auch durch zweckmässigere Formgebung der „Kappen“ zu beseitigen gewusst. Und auch die letzten, bei Räumen besserer Art Platz greifenden Gegengründe gegen die Anwendung von Cementdecken: dass nämlich die schalenartige Form, welche den Decken auf der Unterseite früher gegeben zu werden pflegte, der angemessenen architektonischen Behandlung Schwierigkeiten entgegensetzt, und ferner, dass es umständlich sei, auf der Oberseite solcher Decken Holzfussboden besserer Art anzubringen, sind durch neuerliche Fortschritte hinfällig geworden. Man führt in solchen Fällen heute die Untersichten der Betondecken vielfach „gerade“ aus und gewinnt dabei leicht das Mittel, die störenden Untersichten der Eisenträger mit Putz zu überziehen, so dass solche Decken derselben künstlerischen Behandlung fähig sind, wie gewöhnliche Rohrputz- oder Holzdecken. Man versteht ferner heute mittels des (von Ludolf erfundenen, weiterhin beschriebenen) Verfahrens auf Betondecken mit Leichtigkeit Holzfussboden bester Qualität zu verlegen, nnd kann wo es gewünscht wird, auch Estriche feinerer künstlerischer Durchbildung, wie z. B. Terrazzoböden, die heute vielfach in Cement ausgeführt werden, darüber herzustellen. Es sind daher heute Betondecken ausführbar, welche von aussen dieselbe Erscheinung bieten, wie die gewöhnlich in Wohnhäusern zur Anwendung kommenden Decken, dabei aber vor diesen den wichtigen Vorzug der Feuersicherheit voraus haben. Namentlich letzterer Vorzug ist so erheblich, dass er der Anwendung der Betondecken auch in dem gewöhnlichen Wohnhause — und zwar vom dürftigen bis zum reich ausgestatteten — die weitest gehenden Aussichten eröffnet. Beispielsweise hat man neuerdings bei Lagerhäusern von Betondecken als Unterlagen für das Holzcement-Dach (an Stelle der sonst üblichen Bretterschalung)

Gebrauch gemacht und so ein Dach geschaffen, welches in Bezug auf Feuerschutz und Schutz gegen Temperatur-Schwankungen den höchsten Anforderungen Genüge leistet.

Ein schliesslich noch zu erwähnender Vorzug kleinerer Art, welcher den Betondecken eigen ist, besteht darin, dass bei ihnen die von der Baupolizei oft erhobene Forderung, dass Eisentheile nicht dem unmittelbaren Zutritt von Feuer ausgesetzt liegen sollen, mit Leichtigkeit erfüllbar ist. Letzteres gilt aber nicht nur von Eisentheilen in Decken — liegenden Konstruktions-Theilen — sondern ebenso sehr von sogen. „stehenden" Bautheilen, wie Säulen und Pfeilern. Indem der Cement fest am Eisen haftet, kann aus demselben ebenso leicht eine Hülle für Säulen und Pfeiler, welche dicht anliegt, wie auch eine Ummantelung, welche um den Eisenkern einen mehr oder weniger weiten Luftraum belässt, geschaffen werden. Derartige Ausführungen gehören erst den letzten Jahren an; sie dürften aber mit der Zeit eine ziemliche Ausdehnung gewinnen.

Versuche, den Cement zu Beton verarbeitet, in erheblichem Maasse zum Aufbau der Mauern und Wände ganzer Häuser zu verwenden, haben bisher keinen grossen Erfolg gehabt. Zwar liegen derartige Ausführungen in Deutschland seit mehr als 20 Jahren vor, indem damals bei den Württembergischen Eisenbahnen einige Wärterhäuser (auch eine Papierfabrik in Württemberg) ganz in Beton hergestellt wurden und denselben ist später, in der ersten Hälfte der 70er Jahre, eine ganze Kolonie in der Nähe Berlins (Victoriastadt, gegründet von der Berliner Cementbau-Gesellschaft) gefolgt. Im Auslande sind Häuser in Betonbau mehrfach errichtet worden, in England z. B. auch unter Verkleidung der Aussenseite mit dünnen Thonplättchen, welche beim Wachsen der Betonmauern sogleich mit aufgezogen wurde. Zu einer grösseren Ausbreitung dieser Bauweise ist es aber bisher nicht gekommen, und es muss als Hauptgrund dieser Thatsache wohl der vermuthet werden, dass bei dem niederen Charakter, den alle diese Bauten tragen, die Ausführung in Beton keine nennenswerthen Ersparungen gegenüber derjenigen in geringwerthigem Mauer-Material ergiebt. Es kommt hinzu, dass die Anbringung von Gesimsen und anderen, aus der Wandflucht vortretenden Bautheilen, Zubehöre von Bauten, auf die man in Deutschland selbst bei ärmlichen Ausführungen nicht verzichten mag, bei Steinbauten leicht, bei Betonbauten etwas umständlich ist und dass man den Vorzug der raschen Ausführung, der raschen Trocknung der Betonhäuser, durch die unansehnliche Färbung derselben, sowie langdauernde Ausblühungen wohl als aufgewogen ansieht. Was den Schutz, den sie gegen Witterungs-Einflüsse, extreme Temperaturen u. s. w. gewähren, anbetrifft, so sind den Betonhäusern wohl keine Vorzüge im Vergleich zu den Häusern mit gewöhnlichen Mauerwerks-Umschliessungen beizulegen; wie diese bedürfen sie einer gewissen Massigkeit, um den beanspruchten Grad von Schutz zu gewähren.

Häuser aus Beton haben sich daher keine „Beliebtheit" zu erringen vermocht und es wird deshalb für die Verwendung des Cements zu Häusern auf einen wesentlichen Umfang wohl nicht zu rechnen sein.

Hingegen hat sich demselben neuerdings in der besondern Ausführungsweise der Monierbauten ein Gebiet erschlossen, welches grosser Ausdehnung fähig erscheint und durch die Grösse seiner Ausdehnung von Wichtigkeit für die Cementindustrie zu werden verspricht.

Monier, ein französischer Gärtner, gerieth auf die Idee, zur Her-

stellung grosser Pflanzenkübel, welche dauerhafter als Holz und weniger schwer als die längst bekannten dickwandigen Kübel aus Beton (Kunststein) sein sollten, Eisen in Verbindung mit Cement anzuwenden in der eigenartigen, bis dahin nicht bekannten Weise, dass in eine verhältnissmässig dünne Wand aus Cementmörtel ein Eisengerippe (Gewebe oder Netzwerk) eingebettet wird. Was Monier bei der Verringerung der Wandstärke seiner neuen Kübel an Haltbarkeit derselben preisgab, brachte er durch die Einlegung des Eisengerippes wieder ein. Er verfuhr rein empirisch und es lag ihm jedenfalls eine rationelle Auffassung seiner „Konstruktion“ fern, auch dann noch, als er von den Pflanzenkübeln zur Herstellung grösserer Gefässe, wie z. B. Wasserbehälter und ähnlicher Formen überging.

Dass es sich bei der Kombination von Eisen und Cementmörtel um eine der feineren Durchbildung fähige Bauweise handele, dass eine Theilung der Leistung möglich sei, indem man dem Eisen die Aufgabe zuweisen könne, die in der Konstruktion wirksamen Zugspannungen aufzunehmen, während dem Cement nur die Aufgabe belassen würde, gegen Druckspannungen zu wirken, dass in dieser Trennung der Leistungen eine rationelle Auswerthung der Haupteigenschaften beider Materialien beschlossen liege, ahnte ihr Erfinder nicht. Er bemühte sich, für seine rein handwerksmässigen Leistungen Anerkennung zu finden und ihnen Ausbreitung zu verschaffen. Er knüpfte demzufolge auch mit Geschäften jenseits der Grenzen seines Heimathlandes Verbindungen an, um dort Vertreter zu bestellen.

Vermuthlich aus dem Grunde, dass einzelne Ausführungen aus der Frühzeit, bei welchen die praktische Erfahrung und Einübung der Arbeiter noch gefehlt hatte, verunglückten, gelang es zunächst nicht, der Monier-Bauweise in Deutschland nennenswerthen Eingang zu verschaffen, Dies änderte sich erst als im Beginn der 80er Jahre ein Geschäft in Berlin für diese Bauweise eintrat und für die rationelle Ausführung derselben wissenschaftliche Grundlagen beschaffte. Es wurden ausgedehnte Versuche ausgeführt, welche über die Hauptfragen: das chemische Verhalten des mit Cementmörtel ausgefüllten Eisengerippes, die Haftfestigkeit zwischen Eisen und Cementmörtel und endlich die etwaigen Unterschiede in den Ausdehnungen beider Materialien, welche aus Temperatur-Aenderungen hervor gehen, Klarheit lieferten und Hand in Hand mit diesen Versuchen gehend, wurde von dem Ingenieur, Regierungs-Baumeister Koenen die wissenschaftliche Theorie der Monier-Konstruktionen entwickelt.

Nachdem durch anderweite besondere Versuche, sowie durch Brandfälle auch noch die hohe Widerstandsfähigkeit von Monier-Konstruktionen gegen Feuer erwiesen war — welche theils in der geringen Wärmeleitung des Cementmörtels, theils in dem Zusammenhalt desselben auch noch bei hohen Temperaturen — theils in der Zähigkeit des Eisens und besonders in der netzartigen Anordnung, in welcher dasselbe im Cement eingebettet liegt, begründet ist, war dieser Konstruktion mit einem Schlage ein grosses Anwendungsgebiet eröffnet, von dem hier Einiges mitgetheilt werden mag, nachdem vorausgeschickt ist, dass die sachgemässe Ausführung derselben durchaus „Spezialität“ ist und nur bei grösster Sorgfalt in derselben die erwarteten Leistungen sich bewahrheiten können.

Die besonderen Vorzüge der Monier-Bauweise bestehen in der rationellen Ausnutzung der Haupteigenschaften der beiden Materialien; es kann bei ihr grosse Tragfähigkeit mit relativ geringem Material-Aufwande

erreicht werden. Aus dem geringen Eigengewicht wiederum geht die Möglichkeit der Erreichung grosser Spannweiten und die gute Anwendbarkeit noch an Stellen hervor, wo es für anderweitige Ausführungsweisen an der ausreichenden Unterstützung fehlt.

Wenig geeignet erscheint die Monier-Bauweise aber da, wo der Schutz gegen Kälte in Frage kommt, also zu Aussenwänden von Wohnräumen und anderen Zwecken, bei denen Wärmeschutz angestrebt wird. Hier muss man durch Verdoppelung der Konstruktion, d. h. durch Einlagen von sogen. Luftschichten helfen, wodurch aber das System anderen Ausführungsweisen gegenüber ökonomisch in Nachtheil kommt.

Als Bautheile, für welche sich das Monier-System von vorn herein besonders empfahl, sind Decken anzuführen; hier setzte diese Bauweise auch sofort ein, indem sie den Wettbewerb mit Wellblech oder Stein- bezw. Betonwölbung aufnahm. Eine blosse Erweiterung der Decken- und Dachwölbungen bildet der Brückenbogen.

In allen diesen Konstruktionen liegen aus den letzten 5 Jahren zahlreiche Ausführungen vor (Dachgewölbe bis 18 m Spannweite z. B. in der Glasfabrik zu Stralau bei Berlin) und eine Anzahl von Brückenbögen (bis zu 42 m Spannweite) insbesondere in Oesterreich. Die geringe Schwere der Konstruktion zieht indess der Verwendbarkeit derselben für manche Zwecke bald eine Grenze. Wo die von den Bögen zu tragenden Lasten keine sogen. ruhenden, sondern bewegliche sind, bedarf man, um gefährdende Bewegungen von den Bögen fern zu halten, grosser ruhender Massen; für solche Zwecke scheidet das Moniergewölbe aus.

Zu Deckenbildungen ist die Monier-Bauweise auch in der Form von ebenen Platten öfter verwendet worden, zuweilen, indem man zwei Lagen benutzte, die eine über die eisernen Balken fortsteckte, die andere an den Unterflanschen derselben aufhängte, oder ihnen Auflager auf dem Unterflansch gab.

Auch Wände sind nach Monier-Bauweise vielfach ausgeführt; doch scheint es, dass denselben hierbei der Wettbewerb mit minder kostspieligen Ausführungsweisen schwer wird.

Eine besondere Eignung besitzt die Monier-Bauweise hinwiederum für Treppen, wobei dieselbe da am grössten ist, wo in der Grundrissform der Treppen für Ausführung in Holz, Stein oder Eisen gewisse Schwierigkeiten obwalten.

Zwischen und neben den Formen der Kappe, Platte, Wand u.s.w. liegen im Hochbauwesen andere, wie z. B: Kuppeln, Kugelkalotten, Kreuzgewölbe, Schalengewölbe, Füllungen, Verkröpfungen, Auskragungen von Hohl-Gesimsen u. s. w., welche ohne Schwierigkeiten und in zweckmässigster Weise in Monier-Bauweise herstellbar sind.

Von dem Vortheil der leichten Formgebung, der nachträglichen Anbringungsfähigkeit u. s. w. lässt sich auch für die Anlage von Hohlräumen und Röhren für Heiz- und Lüftungs-Zwecke, nützliche Anwendung machen.

Bei Durchlässen und Röhren jedoch, wie sie im Hoch- und Tiefbau vorkommen, trifft das Monier-System leicht auf Ausführungsweisen anderer Art, die ihm gleichwerthig oder überlegen sind. Dies wird z. B. bei Röhren der Fall sein, deren Weite unter einer gewissen Grenze liegt.

Zweifellos ist durch Einführung der Monier-Bauweise die Vielheit der Verwendungszwecke des Cements erheblich vergrössert worden; mit

einer Eisengerippe-Einlage wird der Cement zu Bautheilen benutzbar, von denen er früher völlig ausgeschlossen war. So vielseitig indess die Anwendbarkeit der Monier-Bauweise auch sich noch entwickeln mag, so ist vorläufig doch zu beachten, dass für mehrere Verwendungsweisen noch die zur vollen Sicherung des Urtheils unentbehrliche längere Bewährung fehlt. Heute steht erst für eine Anzahl derselben die Bewährung ausser Frage.

Als einige besondere Anwendungsweisen des Cements, welche zwischen Hochbauten und Tiefbauten in der Mitte liegen, sind zu nennen: Grottenbauten, Brunnenverkleidungen mit unregelmässigen Stücken und ähnlichen Schmuckanlagen von malerischer Haltung. Für diese Zwecke hat der Cement von jeher ein sehr gebrauchsfähiges Material geliefert, und schon Becker bringt mehrere derartige Anlagen zur Darstellung. Es gehören ferner hierher Springbrunnen, Bassins, Badewannen in öffentlichen Badeanstalten, Eiskellerbauten, Behälter für Spiritus, Oel, Theer, für Zwecke der Gerberei und sonstige gewerbliche oder industrielle Zwecke, Tanks und Krippen, Gegenstände, bei denen Wasserdichtheit und Widerstandsfähigkeit gegen leichte Säuren erfordert wird, endlich Fabrikschornsteine, Maschinen-Hammer- und Krahn-Fundamente. Für letztern Zweck erscheint die Betonbau eigentlich „wie geschaffen", indem es bei demselben wesentlich auf todte Masse ankommt, zumal alle an die Form gestellten Anforderungen im Betonbau mit grösserer Leichtigkeit als bei irgend einem andern Material erfüllt werden können. Insbesondere gilt dies mit Bezug auf grosse Maschinenfundamente, deren Herstellung in Mauerwerk, wenn die Verankerungen und Hohlräume zahlreich sind und wenn die Gesammtform des Fundaments nicht einfach ist, erhebliche Schwierigkeiten bereiten kann und dadurch kostspielig wird.

Nicht allzu oft aber doch bereits in ziemlich grossem Umfang und mit Erfolg hat Portland-Cement beim städtischen Strassenbau Eingang gefunden. Er wird hier einestheils zum Schliessen der Fugen im Pflaster aus gut gearbeiteten Steinen benutzt um ein sogen. wasserdichtes Pflaster zu schaffen und andererseits zu Kiesbeton für die Unterbettung von Asphaltstrassen. Da, um Tragfähigkeit der Schicht zu sichern, eine Dicke derselben von 15—20 cm nöthig ist, handelt es sich hierbei um relativ grosse Mengen von Cement, und da die immer wachsendeu Ansprüche an die Güte städtischer Strassen eine immer zunehmende Ausbreitung der Asphaltstrassen in sichere Aussicht stellen, darf die Cementindustrie auf einen grossen bleibenden Absatz für diesen Zweck rechnen.

Die älteste und umfassendste Verwendung hat der Cement bei Tiefbau (Wasserbau) gefunden, anfänglich ganz überwiegend nur als Mörtel zu Mauerungen und erst später zu Beton-Bauten, indem die Verwendung eines rasch bindenden und dadurch gegen die spülenden Wirkungen des Wassers bald gesicherten, bezw. auch eines wasserdichten Mörtels Bedingung für den Erfolg, oder auch die Ausführbarkeit mancher derartiger Bauten war.

Nicht in das Gebiet der „besondern" Anwendungen fällt eine Verwendungsweise des Cements, welche mit der Zeit die allgemeinere werden dürfte; es ist dies der Zusatz von Cement zum gewöhnlichen Kalkmörtel. Man erreicht mit demselben mehrere Zwecke gleichzeitig: Die rasche Erhärtung des Mörtels dient zur Abkürzung der Bauzeit, wirkt also

nach mehreren Richtungen hin ökonomisch und die vermehrte Festigkeit, welche der Zusatz von Cement mit sich bringt, gestattet in manchen Fällen eine Verminderung der Massen ohne Verminderung der Standfähigkeit. Endlich kommt die Volumen-Beständigkeit des Cements in Betracht, welche der bekannten grossen Schwindung des Kalkmörtels entgegen wirkt und dadurch vielfach erst Konstruktionen ermöglicht, welche mit gewöhnlichem Kalkmörtel gar nicht, oder nicht ohne weit gehende Sicherheits-Vorkehrungen ausführbar sein würden.

Im Grunde dasselbe, aber in dem Grade davon verschieden ist es, wenn anstatt des Zusatzes von Cement zum Kalkmörtel ein Zusatz von Kalk zum Cementmörtel gemacht wird; es soll hierdurch neben einer Verbesserung der Qualität eine Verbilligung des Mörtels erzielt werden. Erstere erfolgt insofern, als der Kalkzusatz den Cementmörtel „geschmeidiger" d. h. leichter verarbeitungsfähig macht, als ferner die Abbindezeit etwas verlängert und auch dadurch die Verarbeitung des Mörtels erleichtert wird. Und endlich macht der Kalkzusatz den Cementmörtel dichter, wobei, wenn jener in gewissen, durch die Natur der Materialien gezogenen Grenzen bleibt, die Festigkeit des Mörtels noch erhöht werden kann. Ein Kalkzusatz macht Cementmörtel von sehr grosser Magerkeit, die kaum verarbeitungsfähig sein würden, noch gut verwendbar. Eine genaue Klärung dieser Verhältnisse mit Bezug auf die Leistung des Kalkzusatzes im Cementmörtel, seine zweckmässige Begrenzung, sowie die ökonomische Wirkung haben umfassende Versuche von R. Dyckerhoff — und ihm nachfolgender Anderer — gegeben, worüber auf die betr. Litteratur, unter der insbesondere die Jahrgänge 1881 und 1882 der Deutschen Bauzeitung zu nennen sind, Bezug genommen werden muss.

Da die Vorzüge beider Mörtelarten: Kalk-Cement-Mörtel und Cement-Kalk-Mörtel, bei Hoch- und Tiefbauten je nach den Besonderheiten derselben zur Geltung kommen, darf mit Sicherheit erwartet werden, dass der Verbrauch von Cement für diese Zwecke mit der Zeit einen sehr beträchtlichen Umfang erreichen wird.

Zum Schlusse mag darauf hingewiesen werden, dass ein der Verwendung von Cement für Zwecke des Hochbaues früher manchmal entgegen gehaltenes Moment: dass derselbe zur Aufnahme von Anstrichen und Bemalung ungeeignet sei, hinfällig ist. Es hat niemals Schwierigkeiten gegeben, den Cementputz mit einem gewöhnlichen Oelfarbenanstrich zu versehen und in den Küstengegenden der Nordsee, wo der Cementputz in regelmässiger Anwendung steht, erhalten alle in Cementputzbau hergestellten Gebäude Oelfarbenanstrich. Es giebt noch anderweitige Anstriche, welche sich für Cementputz eignen, und endlich ist in der Koch-Adamy'schen stereochromischen Bemalung neuerdings ein Verfahren erfunden worden, mittels dessen selbst weit gehenden Ansprüchen künstlerischer Art an die Erscheinung von mit Cement geputzten Flächen genügt werden kann. Da dieses Verfahren vollständige Haltbarkeit verbürgt, ist dasselbe sogar zur sogen. Monumental-Malerei geeignet. Doch bedarf es beim Anstrich und Bemalen von Cement einiger Vorsicht und Fachkenntniss, worüber weiterhin nachzulesen ist.

Ueber die sehr mannigfachen Verwendungszwecke und Verwendungs-Formen des **Betons** folgt das Geschichtliche in einem besonderen Abschnitte.

II. Eigenschaften des Portland-Cements.

a) Begriffserklärung.

Wie schon aus den in der Einleitung über die Herstellung gemachten Angaben hervor geht, ist der Portland-Cement ein hydraulischer (unter Wasser erhärtender) Mörtelstoff, welcher dadurch erzeugt wird, dass man eine innige Mischung von Kalk und Thon als wesentlichen Bestandtheilen bis zur Sinterung brennt und bis zur Pulverform zerkleinert. Es ist wesentlich, dass bei dem Brennprozess die Sinterung, welche sich durch eine Erweichung des Rohmaterials in der Weissglüh-Hitze zu erkennen giebt, wirklich eingetreten ist, da in der Sinterung die vorzüglichen Eigenschaften des Portland-Cements und der Unterschied desselben von den Roman-Cementen und hydraulischen Kalken begründet sind, welche bei einer weit niedrigeren Temperatur gebrannt werden.

b) Chemische Zusammensetzung.

Die chemische Zusammensetzung der Portland-Cemente schwankt zwischen verhältnissmässig engen Grenzen. In den „Mittheilungen der Königlichen Versuchsanstalten Berlin's", 1883 S. 38 und 1885 S. 91, sind die Analysen der meisten deutschen Portland-Cemente veröffentlicht. Wir geben die Einzelzahlen in folgender Tabelle wieder, da dieselben für Viele von Werth sein dürften.

Wie sich aus dieser Tabelle ergiebt, schwanken die Einzelbestandtheile bei den deutschen Portland-Cementen zwischen folgenden Grenzzahlen:

Kalk	58,22—65,59 %
Kieselsäure	19,80—26,45 „
Eisenoxyd	2,19— 4,47 „
Thonerde	4,16— 9,45 „
Magnesia	Spuren — 2,89 „
Alkalien	0,19— 2,83 „
Schwefelsäure	0,19— 2,19 „
Glühverlust	0,26— 2,67 „
Unaufgeschlossener Rückstand	0,12— 1,38 „

E. Candlot giebt in seiner „Étude pratique sur le Ciment de Portland" (Paris 1886) für französische und ausländische Cemente folgende Grenzzahlen an:

Kalk	58 —67 %
Kieselsäure	20 —26 „
Thonerde	5 —10 „
Eisenoxyd	2 — 6 „
Magnesia	0,5— 3 „
Schwefelsäure	0,5— 2 „

Ein Vergleich dieser Zahlen mit den oben mitgetheilten ergiebt, dass beide Zahlenreihen ziemlich übereinstimmen. Cemente, deren Zusammen-

Nummer.	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	16 %	17 %
Kalk	62,02	61,99	62,89	63,59	63,71	63,79	62,68	63,27	62,14	65,59	64,22	64,70	62,57	61,99	58,22	62,32	64,98
Kieselsäure	22,58	23,69	22,80	22,59	25,37	23,33	23,29	19,80	22,77	22,85	21,49	21,90	22,75	22,60	20,58	20,78	19,83
Eisenoxyd	2,82	2,71	3,40	3,44	3,14	2,80	2,47	3,22	2,83	2,76	3,96	3,30	2,90	2,67	2,85	4,47	2,98
Thonerde	6,52	8,29	7,70	5,56	4,31	7,12	5,43	6,73	6,44	5,51	6,42	6,60	6,96	6,91	7,45	7,73	6,75
Magnesia	1,13	0,47	1,20	1,30	1,25	1,49	1,10	2,02	2,23	1,24	1,77	1,10	1,21	1,09	2,79	—	1,94
Alkalien (Kali und Natron)	2,27	0,95	1,30	1,90	0,84	1,42	0,85	1,48	2,16	0,92	1,34	0,80	1,53	2,13	2,35	—	0,66
Schwefelsäure	1,15	0,69	0,71	1,13	0,87		1,03	1,08	0,41	1,69	0,91	0,80	2,19	1,13	1,22	—	0,19
Kohlensäure } Glühverlust	1,51	0,27	—	—	—	—	1,42	0,23	0,67	—	—	—	—	1,48	2,67	1,89	1,02
Wasser }		0,39	—	—	—	—		0,77		—	—	0,80	—				
Unaufgeschlossener Rückstand	—	0,44	—	0,62	—	—	1,17	1,38	0,35	—	—	—	—	—	1,10	—	1,31

Nummer.	18 %	19 %	20 %	21 %	22 %	23 %	24 %	25 %	26 %	27 %	28 %	29 %	30 %	31 %	32 %	33 %
Kalk	62,84	63,51	64,23	64,80	59,96	65,36	64,51	61,67	62,66	63,30	61,19	58,53	64,18	62,05	65,50	60,81
Kieselsäure	22,80	21,97	20,45	22,90	23,70	21,80	22,38	23,94	24,76	20,80	22,63	25,53	26,45	22,24	23,36	22,63
Eisenoxyd	3,30	2,70	3,47	2,80	3,15	4,02	2,24	3,98	2,71	10,40	4,32	3,72	2,20	3,37	2,19	2,42
Thonerde	7,80	7,47	9,11	5,20	8,20	6,85	9,45	6,82	7,71		6,73	4,16	4,67	8,30	5,03	7,06
Magnesia	1,20	1,02	1,29	1,20	1,00	1,78	Spuren	1,10	1,04	2,50	0,68	2,10	Spuren	0,91	1,67	2,89
Alkalien (Kali und Natron)	1,30	0,96	0,78	1,05	1,05	0,19	—	0,62	0,86	—	1,90	1,82	2,15	1,58	0,85	2,83
Schwefelsäure	0,76	0,98	0,51	1,47	0,88	—	1,44	0,94	—	—	0,87	1,44	—	0,36	0,60	0,47
Kohlensäure } Glühverlust	—	1,57	—	—	0,26	—	—	1,47	0,26	2,30	1,39	2,47	—	0,25	0,58	0,33
Wasser }	—	—	—	—	0,70	—	—						—	0,94		0,60
Unaufgeschlossener Rückstand	—	—	—	—	0,80	—	—	0,36	—	—	0,58	—	—	—	0,12	—

setzung ausserhalb dieser Grenzen liegt, sind sonach verdächtig keine eigentlichen Portland-Cemente zu sein und sind dann auf ihr gesammtes sonstiges Verhalten zu prüfen. Insbesondere sei hier auf die Cemente mit hohem Magnesiagehalt hingewiesen, welche, wenn sie bis zur Sinterung gebrannt werden, höchst gefährliche (stark treibende) Eigenschaften besitzen. Es muss vor diesen Cementen um so mehr gewarnt werden, als dieselben ihre zerstörenden Wirkungen erst nach längerer Zeit (oft erst nach Jahren) äussern und ihr Verhalten durch die bei Portland-Cement üblichen und für diesen völlige Sicherheit gewährenden Proben nicht erkannt wird. Wie aus der obigen Tabelle hervor geht, beträgt der Magnesiagehalt bei den deutschen Portland-Cementen höchstens etwa 3 % und ein solcher Gehalt ist erfahrungsgemäss völlig unschädlich. Wie hoch der Magnesiagehalt sein darf, ohne schädliche Wirkungen auszuüben ist bis jetzt noch nicht mit Sicherheit festgestellt; doch sollte derselbe nach den heutigen Erfahrungen sich möglichst wenig über 3 % erheben.

Bezüglich der Ver-

bindung der einzelnen Bestandtheile des Portland-Cements unter einander ist zu bemerken, dass hierüber nichts Sicheres bekannt ist. In Ermangelung zuverlässiger Mittel lässt sich nicht feststellen, ob im gebrannten Cement Kieselsäure- und Thonerde-Verbindungen neben einander oder ob nur eine Kieselsäure-Verbindung mit sämmtlichen Basen vorhanden ist. Feststehend ist nur, dass die Bestandtheile des Portland-Cements durch das Brennen in einen Zustand übergeführt worden sind, in welchem sie durch Salzsäure vollkommen zerlegbar sind.

c) Farbe. Structur. Specifisches Gewicht.

Portland-Cement bildet ein scharf anzufühlendes Pulver von grauer Farbe mit einem Stich in's Grüne. Unter dem Mikroskop erkennt man, dass dasselbe aus lauter eckigen Blättern oder Schieferplättchen besteht, welche in dünnen Lagen farblos, in dickeren grün, theilweise auch violett erscheinen. Die Farbe des erhärteten Cements ist bläulich-grau, ähnlich dem englischen Portland-Stein, von welchem der Name entlehnt wurde.

Portland-Cement besitzt eine hohe Eigenschwere und in dem hohen specifischen Gewicht ist der Werth des Portland-Cements als Mörtelstoff mit begründet. Alle anderen Bindemittel haben ein geringeres specifisches Gewicht und vermögen deshalb nicht einen so dichten und widerstandsfähigen Mörtel zu liefern, wie der Portland-Cement.

Das specifische Gewicht des frischen Portland-Cements schwankt je nach dem Grade des Brandes und dem Kalkgehalt zwischen 3,12 und 3,25.

Beim Lagern des Cements nimmt das specifische Gewicht durch Aufnahme von Wasser und Kohlensäure aus der Luft ab und kann, namentlich bei längerm Lagern, unter 3,1 herabgehen. Durch Ausglühen des gelagerten Cements kann man jedoch den ursprünglichen Zustand nahezu wieder herbei führen. Das specifische Gewicht ist das einzige Mittel, um die Sinterung eines Cements festzustellen und ist darum von hohem Werth.

d) Das Abbinden.

Wird Portland-Cement mit Wasser zu einem Brei angerührt, so erstarrt derselbe nach mehr oder weniger langer Zeit. Ist die Erstarrung so weit vorgeschritten, dass der Cement einem leichten Druck mit dem Fingernagel widersteht, so sagen wir der Cement ist „abgebunden“. Die Zeit, welche bis zu diesem Punkt verfliesst, heisst die Bindezeit. Ueber die Ermittelung der Bindezeit ist das Nähere in Absatz II der „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement“ S. 22 mitgetheilt. Je nach der Beschaffenheit der Rohmaterialien, ihrer chemischen Zusammensetzung und dem Grade des Brandes bindet der Cement mehr oder weniger rasch ab. Im allgemeinen geben die thonerdereicheren Rohmaterialien leicht rasch bindenden, die kieselsäurereicheren leichter langsam bindenden Cement. Schwach gebrannter Cement ist meist rascher bindend als scharf gebrannter; doch erleidet diese Regel zahlreiche Ausnahmen und es giebt Rohmaterialien, welche gerade bei dem schärfsten Brand so rasch bindenden Cement liefern, dass derselbe, namentlich in frischem Zustand, mit Wasser kaum zu verarbeiten ist.

Stört man bei solch rasch bindendem Cement das Abbinden indem man ihn fleissig durcharbeitet, so kann man den halbstarren Cementbrei nicht selten wieder verflüssigen und es tritt das sogenannte „Verrühren“ ein; d. h. der Cement bindet dann langsam ab, er bleibt längere Zeit weich, erreicht aber nicht mehr die Härte, welche der in

normaler Weise abgebundene Cement erreicht hätte. Alle rasch bindenden Cemente müssen deshalb verarbeitet werden, ehe das Abbinden beginnt.

Der gelagerte Cement bindet immer langsamer ab als frischer Cement (Vergl. auch „Verhalten gegen chemische Einflüsse". S. 27.) Eine Ausnahme machen nur an sich rasch bindende Cemente, bei welchen durch das soeben geschilderte „Verrühren" das Abbinden gestört worden ist.

Die Temperatur der Luft, des Wassers (und eventuell des Sandes) wirken wesentlich auf das Abbinden des Cements ein. Bei warmer, trockener Witterung bindet derselbe Cement rascher ab, als bei kalter, feuchter Witterung. Durch Anmachen mit warmem Wasser kann man langsam bindenden Cement zu wesentlich rascherem Abbinden bringen, was für manche Arbeiten unter Umständen von Vortheil sein kann. Auch die zum Anmachen des Cements benutzte Wassermenge ist auf das Abbinden des Cements von Einfluss, insofern der steifer angemachte Cement rascher abbindet als der mit viel Wasser zu einem dünnen Brei verarbeitete Cement. Will man daher betreffs der Bindezeit eines Cements an verschiedenen Versuchs-Stellen zu vergleichbaren Ergebnissen gelangen, so muss die Bestimmung der Bindezeit bei möglichst gleicher Temperatur der Luft und des Wassers und mit gleichen Wasserzusätzen vorgenommen, oder es müssen mindestens die jeweiligen Verhältnisse dieser drei Punkte in Berücksichtigung gezogen werden.

Während des Abbindens beobachtet man beim Portland-Cement immer eine geringe Temperatur-Erhöhung, die bei rasch bindendem Cement bis zu 10 ° und mehr betragen kann. Sie wird ferner grösser, wenn grössere Mengen von Mörtel auf ein mal gemacht werden. So beobachtete Herzog[1]) beim Einstampfen von Cementwürfeln von 10—20 cm Höhe Temperatur-Erhöhungen von 16—32 °.

Viele Stoffe beeinflussen, wenn sie dem Cement oder dem Anmach-Wasser zugesetzt werden, das Abbinden in erheblicher Weise. Die Alkalien (Kali, Natron, kohlensaures Natrium) machen den Cement rasch bindend, während dagegen Gyps (schwefelsaurer Kalk) und viele schwefeldaure Salze (auch Schwefelsäure dem Anmachwasser zugesetzt), welche beim Zusammentreffen mit Cement schwefelsauren Kalk bilden, den Abbindungsprozess wesentlich verlangsamen; und zwar genügen schon geringe Mengen ($^1/_2$—2 %), um diese Wirkungen hervorzurufen. (Das Nähere hierüber siehe unter „Zusätze zum Cement" S. 16.) Auch das Calciumchlorid, welches auch entsteht, wenn das Magnesiumchlorid des Meerwassers mit Portland-Cement in Berührung kommt, hat die Eigenschaft, das Abbinden des Cements zu verzögern und es findet demnach das langsamere Abbinden des Portland-Cements beim Anmachen mit Meerwasser durch die Bildung von Gyps und Calciumchlorid seine Erklärung. (Vergl. auch „chemische Einflüsse" S. 28.)

Nach den „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement" wird der Portland-Cement nach seiner Bindezeit in langsam und rasch bindenden Cement unterschieden und es werden unter langsam bindenden Cementen solche Cemente verstanden, welche in 2 Stunden oder in längerer Zeit abbinden. Demgemäss sind Cemente, welche in weniger als 2 Stunden abbinden, als rasch bindende Cemente zu bezeichnen. Es mag bemerkt sein, dass man früher, als überhaupt mehr rasch bindender Cement wie heute fabricirt wurde, unter rasch bindendem

[1]) Wagner's Jahresbericht der chem. Technologie 1882 S 647.

Cement den in weniger als einer halben Stunde abbindenden Cement verstand.

Von dem „Abbinden“ wohl zu unterscheiden ist das eigentliche Erhärten des Cements. Da dieses nach dem Abbinden beginnt, so liegt es auf der Hand, dass der rascher bindende Cement nicht gleichzeitig der rascher erhärtende zu sein braucht; vielmehr bildet der umgekehrte Fall die Regel. Bei dem langsam bindenden Cement haben nämlich die Cementtheilchen mehr Zeit sich unter Verdrängung des Wassers dichter an einander (bezw. an den Sand) anzulagern, wodurch eine höhere Festigkeit in kürzerer Zeit erzielt wird, als bei dem rascher bindenden Cement. Bei diesem wird in Folge des früheren Erstarrens die mechanische Aneinanderlagerung der Theilchen früher unterbrochen, so dass unter Einschluss von mehr Wasser ein weniger dichter Mörtel entsteht, welcher durch den chemischen Erhärtungs-Vorgang nach und nach dichter wird und erst später seine hohe Festigkeit erreicht.

e) Erhärtung und Festigkeit.

Der abgebundene Portland-Cement besitzt die Fähigkeit im Wasser sowohl wie an der Luft zu erhärten und in kurzer Zeit eine bedeutende Festigkeit zu erlangen. Die Ursachen des Erhärtungs-Vorganges sind bis jetzt nicht genügend aufgeklärt. Es ist vorerst nicht festgestellt, ob die Erhärtung von einer bestimmten chemischen Verbindung ausgeht und von welcher, und welche chemischen Umsetzungen bei der Erhärtung stattfinden. Feststehende Thatsache ist nur, dass der Portland-Cement beim Erhärten Wasser in chemischer Verbindung aufnimmt und, wenn im Wasser erhärtend, etwas von seinen Bestandtheilen an das Wasser abgiebt, nämlich die Alkalien und geringe Mengen von Kalk und Kieselsäure. Ferner ist sicher, dass beim Erhärten an der Luft ein grosser Theil des Kalkes in kohlensauren Kalk übergeht. Beide Vorgänge tragen zur Verkittung und somit zur Vermehrung der Festigkeit bei. Bezüglich des Erhärtungs-Vorganges mag es daher genügen hier festzustellen, dass durch die chemische Bindung des Wassers unter den gleichzeitig nöthigen, günstigen, mechanischen Bedingungen die Versteinerung des Portland-Cements zu Stande kommt. Auf die verschiedenen Theorien der Erhärtung einzugehen, können wir an dieser Stelle um so mehr unterlassen, als es beinahe ebenso viele Ansichten giebt als Spezialisten sich mit diesem Gegenstand beschäftigt haben.

Wie schon oben angedeutet, ist für die Erhärtung des Portland-Cements die Erfüllung gewisser mechanischer Bedingungen erforderlich. Dahin gehört vor allem: Ruhe während des Abbindens, so dass durch das Aneinanderlagern der Cementtheile (und an den Sand) eine gewisse Dichte des Gefüges erreicht wird. Cement erhärtet daher nicht, oder nur sehr mangelhaft, wenn man ihn in bewegtes Wasser bringt. Durch fortgesetztes Schütteln mit Wasser kann man den Cement sogar völlig zersetzen und zur Erhärtung untauglich machen, während derselbe Cement, in ruhig stehendes Wasser geschüttet und sich selbst überlassen, Steinhärte annimmt. Ferner ist für eine gute Erhärtung des Cements von Wichtigkeit, ihn in den ersten Tagen vor raschem Austrocknen zu schützen. Wird dem Cement das zur Erhärtung erforderliche Wasser schon von Anfang an entzogen, so kann er nie seine volle Härte erlangen.

Portland-Cement besitzt eine sehr grosse Energie der Erhärtung und erlangt schon nach wenig Tagen eine ausserordentlich hohe Festigkeit. Die Zunahme der Festigkeit ist in der ersten Zeit der Erhärtung

am raschesten, schreitet dann langsamer voran, erstreckt sich aber immer auf eine längere Zeit und findet in der Regel erst nach mehreren Jahren ihren Abschluss. Sie ist nicht bei allen Cementen gleich und aus diesem Grund steht die Festigkeit, die nach 1 Woche erhalten wird, zu der nach 4 Wochen oder später erhaltenen Festigkeit bei den verschiedenen Cementen nicht in dem gleichem Verhältniss. Es kann somit aus einer siebentägigen Probe die Qualität der verschiedenen Portland-Cemente nicht richtig beurtheilt werden; es ist vielmehr zu solcher Beurtheilung eine längere Beobachtungsdauer nothwendig. Deshalb ist auch in den „Normen" als kürzester Prüfungstermin für den Vergleich der verschiedenen Cemente die Probe nach 28 Tagen festgesetzt worden. Im allgemeinen kann man annehmen, dass bei gutem Portland-Cement bei normengemäss hergestellten Proben, welche im Wasser erhärten, die Festigkeit nach einem Jahre etwa das $1^1/_2$-fache der 28-Tagesfestigkeit beträgt, — eine Erfahrung, welche aus zahlreichen Beobachtungen abgeleitet ist.

Portland-Cement erhärtet ebenso im Wasser wie an der Luft. In letzterer wird die Festigkeit sogar durchgehends höher, vorausgesetzt, dass der Cement in den ersten Tagen genügend feucht gehalten wurde. Die höchste Festigkeit erreicht der Cement, wenn er abwechselnd in Wasser und in Luft erhärtet. Eine eigenthümliche Erscheinung ist es, dass an der Luft erhärteter Cement-Mörtel, wenn er in Wasser gelegt oder von von Regen durchnässt wird, an Festigkeit zunächst Einbusse erleidet. Die Festigkeit nimmt aber alsbald bei längerm Verbleiben im Wasser wieder zu und ebenso wenn der nasse Cement an der Luft wieder austrocknet, in letzterem Falle ist sogar die Zunahme eine besonders rasche.

Die Temperatur der Luft und des Wassers ist auf die Erhärtung des Cements von verhältnissmässig geringem Einfluss. Bei sehr geringer Wärme (Frostwetter) wird allerdings die Erhärtung des Cements verzögert, während hohe Wärme dieselbe etwas beschleunigt.

Von sehr starkem Einfluss auf die Festigkeit ist die Mahlung des Cements, so dass die Leistungsfähigkeit ein und desselben Cements durch feinere Mahlung ausserordentlich gesteigert werden kann. Dass durch feinere Mahlung die Wirksamkeit des Cements wesentlich verstärkt wird, liegt darin, dass die Cement-Theilchen in feinerer Vertheilung beim Anmachen mit Wasser der Einwirkung dieses letzteren leichter zugänglich sind, so dass die chemische Bindung des Wassers rascher und stärker vor sich geht, was wieder in kürzerer Zeit eine höhere Festigkeit bedingt. Ausserdem findet bei den feinen Cement-Theilchen auch eine dichtere Anlagerung an den Sand (bessere Adhäsion) statt als bei gröberen. Cementkörner, welche beim Absieben durch ein Sieb von 900 Maschen für 1 qcm auf dem Sieb liegen bleiben, sind nahezu werthlos. Sie können erst nach sehr langer Zeit zur Wirkung kommen und verhalten sich anfänglich nur wie Sand. Weitaus das wirksamste im Cement sind die feinsten Theile, namentlich diejenigen, welche beim Sieben durch ein Sieb von 5000 Maschen für 1 qcm durch das Sieb hindurch gehen und die Feinheit dieser Theile ist es in erster Linie, welche die Bindekraft eines Cements bedingt. So werthvoll nun die Feinheit der Mahlung für die rasche Entwickelung der Festigkeit des Cements ist, so mag doch bemerkt sein, dass man sich bei der Auswahl eines Cements nicht allzusehr von der Rücksicht auf die feine Mahlung leiten lassen darf, weil schwach gebrannte, weiche Cemente weit eher sehr fein gemahlen im Handel vorkommen, als scharf gebrannte Cemente, die letzteren aber selbst bei gröberer Mahlung in der Regel doch ein werthvolleres Product darstellen.

Von beträchtlichem Einfluss auf die Festigkeit ist ferner die Menge und Beschaffenheit des Wassers, welches zum Anmachen des Mörtels dient. Im allgemeinen wird die Festigkeit um so grösser, mit je weniger Wasser der Cement angemacht wird, doch muss der Mörtel stets noch so viel Wasser erhalten, dass bei fortgesetztem Durcharbeiten oder, wenn betonirt wird, beim Schlagen oder Stampfen des Mörtels sich etwas Wasser an der Oberfläche zeigt, ein Zeichen, dass alle Zwischenräume mit Wasser angefüllt sind, also genügender Wasserzusatz gegeben worden ist. Bei stärkerem Wasserzusatz erhält man Mörtel von weniger dichtem Gefüge, da das überschüssige Wasser nach dem Verdunsten eine Menge von Poren hinterlässt. Ausserdem kann die verkittende Kraft des Cements naturgemäss zwischen den entfernter gelagerten Theilen des loseren Mörtels nicht in dem gleichen Grade wirksam sein, wie bei den näher aneinander gelagerten Theilen des dichtern Mörtels: die Festigkeit muss also geringer werden. Erst durch eine lange Erhärtungsdauer wird die geringere Festigkeit des nässer gearbeiteten Mörtels einigermassen ausgeglichen. Man hat zwar beobachtet, dass die Mörtel, welche reichlichen Wasserzusatz erhalten haben, in Folge der allmälig wesentlich dichter sich gestaltenden Verkittung mehr an Festigkeit zunehmen als die trockener gearbeiteten Mörtel; dieselben erreichen aber die Festigkeit der letzteren niemals oder höchstens unter ganz besonders günstigen Bedingungen.

Die chemische Beschaffenheit des Mörtelwassers beeinflusst die Festigkeit des Cements insofern als gewisse, im Wasser enthaltene Salze auf die Abbindezeit des Cements von Wirksamkeit sind. So z. B. fand Heintzel[1]) dass hartes, namentlich gypshaltiges Wasser das Abbinden des Portland-Cements verzögert und dieser eine höhere Festigkeit als beim Anmachen mit weichem Wasser erlangt. Wird zum Anmachen des Mörtels Seewasser oder Brackwasser benutzt, so wird zwar auch das Abbinden des Cements verlangsamt, aber in diesem Fall tritt eine Verminderung der Festigkeit ein. Da nämlich das im Seewasser enthaltene Magnesiumchlorid und Magnesiumsulfat theilweise zersetzend auf den Cement wirken, so geht beim Anmachen dieser Theil des Cements für die Erhärtung verloren und es muss sich eine etwas geringere Festigkeit ergeben, als bei Benutzung von Süsswasser zum Anmachen des Mörtels. (Vergl. übrigens auch das Verhalten des Cements gegen Seewasser S. 28.) Aus dem gleichen Grunde erlangt Portland-Cement, wenn er in Seewasser erhärtet, ebenfalls eine etwas geringere Festigkeit, als wenn er unter sonst gleichen Bedingungen in Süsswasser erhärtet.

Ueber die Höhe der Zug- und Druckfestigkeit des Mörtels aus Portland-Cement und das Verhältniss zwischen beiden Festigkeiten lassen sich allgemein giltige Zahlen nicht aufstellen, da die Festigkeit von zahlreichen Bedingungen abhängig ist. Die Festigkeit ist zunächst abhängig von der Güte des Cements, d. h. von der richtigen Mischung der Rohmaterialien, dem Grade des Brandes und der Feinheit der Mahlung, ferner von der Art, wie die zur Bestimmung der Festigkeit dienenden Proben hergestellt werden, insbesondere dem Wasserzusatz und bei Cement-Sand-Mörtel von der Beschaffenheit des Sandes und der Höhe des Sandzusatzes, endlich auch von dem Alter des erhärteten Mörtels. Bei den Proben, welche nach den Normen für Portland-Cement hergestellt sind, ergiebt bei normalem Portland-Cement der Mörtel aus 1 Theil Cement und 3 Theilen Normalsand nach 28 Tagen an Druckfestigkeit durchschnittlich das 10 fache der Zugfestigkeit.

[1]) Notizblatt des Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln etc. 1878. S. 225.

Nach längerer Zeit nimmt die Druckfestigkeit in Folge der zunehmenden Dichte mehr zu als die Zugfestigkeit. Wird der Mörtel nässer angemacht als die Normen angeben, so nimmt die Druckfestigkeit in stärkerem Grade ab, als die Zugfestigkeit, so dass also der Werth $\frac{\text{Druck}}{\text{Zug}}$ mit steigendem Wasserzusatz immer geringer wird, bei zunehmendem Alter aber sich steigert.

Ein Bild von diesen Verhältnissen mag die folgende Tabelle geben, auf welcher die mit demselben Cement bei verschiedenen Wasserzusätzen und verschiedenem Alter der Proben unter Benutzung von gewöhnlichem Mauersand enthaltenen Werthe der Zug- und Druckfestigkeit in kg auf 1 qcm angegeben sind.

Erhärtungs-Dauer	10 % Wasser			12 % Wasser			15 % Wasser		
	Zug	Druck	Druck / Zug	Zug	Druck	Druck / Zug	Zug	Druck	Druck / Zug
7 Tage . .	20,0	202,5	10,1	13,8	107,5	7,8	10,1	55,0	5,4
28 Tage . .	26,1	285,0	10,9	22,9	160,0	7,0	18,3	100,0	5,5
90 Tage . .	28,6	355,0	12,4	25,8	207,5	8,0	23,0	150,0	6,5
180 Tage . .	32,1	380,0	11,8	26,8	225,0	8,4	22,6	170,0	7,5

Anm. Der benutzte Cement gab bei der Prüfung mit Normalsand nach 28 Tagen 21,7 kg Zugfestigkeit und 237,5 Kilo Druckfestigkeit.

In Folge der hohen Dichte, welche erhärteter Portland-Cement-Mörtel besonders bei fetten Mörtelmischungen erlangt, ist derselbe ausserordentlich widerstandsfähig gegen mechanische Einflüsse: seine Abnutzungsfestigkeit ist sehr hoch. Da wir indess eine sichere Methode zur Bestimmung dieser Festigkeit noch nicht besitzen, so haben alle Zahlenangaben darüber nur relativen Werth.

Das Gleiche gilt von der Verkittungsfestigkeit (Adhäsion) des Portland-Cements. Wie stark die Fähigkeit des Portland-Cements ist, Sand und Steine zu einem Ganzen zu verkitten, lässt sich bei dem Abbruch älterer, mit Portland-Cement hergestellter Bauten deutlich erkennen, wo fast stets die Steine früher zerstört werden als der Mörtel vom Steine sich trennt. In Zahlen lässt sich aber die Adhäsion ebenfalls nicht angeben, da sie fast bei jedem Material von anderer Stärke ist und von der Feinheit des Cements sehr stark beeinflusst wird.

f) Volumenbeständigkeit.

Wenn Portland-Cement im Wasser oder an der Luft erhärtet, so ändert er sein Volumen nur ausserordentlich wenig; er ist, im gewöhnlichen Sinne des Wortes verstanden, volumenbeständig. Streng genommen giebt es jedoch überhaupt keine vollkommene Volumenbeständigkeit weder der Mörtel noch der Steine. Denn abgesehen von den Volumenänderungen, welche die Temperatur verursacht — Wärme dehnt aus, Kälte zieht zusammen — wird das Volumen der Steine und der Mörtel auch insofern verändert, als beim Durchtränken derselben mit Wasser eine geringe Ausdehnung, beim Austrocknen dagegen ein geringes Schwinden stattfindet. Diesen äusserst geringen Volumenänderungen ist selbstverständlich auch der Portland-Cement unterworfen. Ferner erfährt der Cement beim Erhärten im Wasser noch eine sehr geringe Ausdehnung durch den Erhärtungsvorgang an sich. Die gesammte Ausdehnung ist aber so unbedeutend, dass dieselbe gegenüber den Volumenveränderungen, welche die Steine erfahren, nicht ins Gewicht fällt. Auf diese Verhältnisse ist zuerst

von Schumann (Protokoll des Vereins Deutscher Cementfabrikanten 1881, S. 44) aufmerksam gemacht und durch Messungen in Zahlen nachgewiesen worden, dass die Ausdehnung mancher Steinsorten im Wasser grösser ist als diejenige eines Mörtels aus 1 Theil Portland-Cement und 3 Th. Sand.

Weit wichtiger als die Ausdehnung ist für den Bestand unserer Bauwerke das Schwinden der Mörtel und es steht fest, dass manche Misserfolge, die man früher dem so sehr gefürchteten „Treiben" des Cements, also einer Ausdehnung desselben, zugeschrieben hat, der durch unsachgemässe Verarbeitung hervor gerufenen Schwindung des Mörtels zur Last zu legen sind.

Wird erhärteter Portland-Cement ohne Sandzusatz der Luft ausgesetzt, so nimmt sein Volumen ab. Findet allmälige, gleichmässige Austrocknung, wie in geschlossenen Räumen, statt, so bleibt der Cement durchaus tadellos. Tritt dagegen das Schwinden plötzlich ein, wie dies im Freien bei Wind und Sonnenschein, insbesondere nach vorher gehendem Regen, nicht selten geschieht, so entstehen Risse im Cement. (Die Oberfläche schwindet rascher als der Kern, es entsteht ein Spannungszustand, der durch Rissbildung sich ausgleicht.) Da die Risse um so leichter sich bilden, je rascher und öfter der Wechsel zwischen nassem und trockenem Zustand sich vollzieht, da sie ferner an alten Cementstücken sich beobachten lassen, die in's Freie gelegt werden, nachdem sie jahrelang im Zimmer sich tadellos erhalten haben, so ist ihre Entstehung als rein mechanischer Vorgang aufzufassen. Durch wiederholtes Dehnen und Schwinden werden dann die anfänglich kleinen Risse vermehrt und vergrössert und kommt noch, wenn sie sich mit Wasser vollgesaugt haben, die Wirkung des Frostes hinzu, so wird der Cement mit der Zeit in einzelne Stücke zersprengt.

Von diesem Gesichtspunkt betrachtet, ist also reiner Cement nicht wetterbeständig, obwohl jedes einzelne Stück Steinhärte besitzt. Ebenso wenig sind dies aber alle übrigen hydraulischen Bindemittel; oder vielmehr sie sind es in noch weit geringerem Grade als der Portland-Cement. Erst durch Zusatz von Sand zum Portland-Cement erzielen wir die Wetterbeständigkeit des Mörtels, dann aber auch vollkommen, weil durch Sandzusatz die Schwindung gleichmässiger wird und an sich schon auf ein geringeres Maass zurückgeführt ist. Schon 1 Theil Sand auf 1 Theil Portland-Cement genügt, um volle Wetterbeständigkeit des Mörtels zu erzielen.

Nachdem wir im Vorstehenden die allen Cementen gemeinsamen, normalen Volumänderungen betrachtet haben, müssen wir auch noch das sogenannte „Treiben" der fehlerhaften Cemente besprechen.

Das Treiben oder Quellen des Cements besteht in einer beträchtlichen Ausdehnung desselben, welche ein Zerklüften des bereits gewonnenen Zusammenhangs bewirkt und nicht selten das gänzliche Zerfallen des Cements herbei führt. Letzterer Fall kann jedoch nur eintreten, wenn für die Ausdehnung genügender Raum vorhanden ist. Befindet sich dagegen der Cement zwischen einschliessenden festen Wandungen, so wird ein Bersten dieser letzteren bewirkt. Das Treiben eines Cements beginnt nach dem Abbinden und zwar um so früher, je stärker es an sich ist und früher beim Erhärten im Wasser als an der Luft; es ist deshalb bei Cementkuchen, welche in Wasser versenkt wurden, schon nach wenigen Tagen deutlich an netzartigen feinen Rissen erkennbar, oder bei stärkerem Grade an Verkrümmungen und Kantenrissen des Kuchens. Es ist bezeichnend, dass die Kantenrisse radial verlaufen, am Rande des Kuchens am weitesten klaffen und nach der Mitte des Kuchens zu sich verengen. Bei einiger

Aufmerksamkeit können diese Treibrisse nicht mit Schwindrissen verwechselt werden, welche vorzugsweise bei sehr langsam bindenden Cementen entstehen, insbesondere wenn der Cement dünn angemacht wurde und der Zugluft oder dem Sonnenschein ausgesetzt war. Man beachte auch, dass die Schwindrisse schon während des Abbindens entstehen und unregelmässige, oft in sich selbst zurück laufende Curven bilden, wärend Treibrisse erst nach dem Abbinden mit Wasser sich bilden. Auch solche Risse, welche durch zu frühes Einlegen von Cementproben in Wasser verursacht werden können, d. h. wenn man den Cement vor dem völligen Abbinden unter Wasser verbringt, sind nicht mit Treibrissen zu verwechseln. (Vergl. auch die Prüfung auf Treiben, Absatz III der „Normen", S. 39.)

Die Ursachen des Treibens liegen immer in mangelhafter Fabrikation des Cements. In der Regel hat das Treiben neben ungenügender Aufbereitung der Rohmaterialien darin seinen Grund, dass der Cement bei der vorhandenen Höhe des Kalkgehalts nicht scharf genug gebrannt war. Die gebrannte Cementmasse ist dann nicht genügend homogen und diejenigen Kalktheile, welche nicht scharf genug gebrannt sind, bilden bei der Erhärtung in Folge der chemischen Bindung des Wassers unter Vergrösserung des Volumens zu rasch Kalkhydrat und sprengen in Folge dessen den bereits gewonnenen Zusammenhang, ehe die Erhärtung genügend weit vorgeschritten ist. Bei längerem Lagern von treibendem Cement, wobei eine Aufnahme von Feuchtigkeit aus der Luft, sowie eine Feinung desselben durch freiwilliges Zerfallen gröberer Körner stattfindet, verliert sich die Eigenschaft des Treibens. Es mag jedoch bemerkt sein, dass solche Cemente gegenüber normal gebranntem Cement von gleichem Kalkgehalt stets minderwerthig bleiben.

Auch durch Zusatz von Gyps von einer gewissen Höhe an kann Cement beim Erhärten im Wassen zum Treiben gebracht werden. Es darf also Portland-Cement, welcher im Wasser oder den Witterungs-Einflüssen ausgesetzt erhärtet, nicht mit erheblichen Gypsmengen verarbeitet werden. Dagegen sind ganz geringe Gypszusätze bis zu 2 %, welche der Fabrikant bisweilen behufs Regelung der Abbindezeit dem Portland-Cement giebt, von Vortheil. (Vergl. „Zusätze zum Cement" S. 32.)

Es ist durchaus bezeichnend für den Portland-Cement, dass durch zu hohen Kalk- oder Gypsgehalt verursachtes Treiben schon in den ersten Tagen, oder wenigstens Wochen, der Erhärtung durch die Probe auf Volumbeständigkeit nach den „Normen" mit Sicherheit erkannt wird. Dagegen zeigen Cemente mit hohem Magnesiagehalt, wenn sie wie Portland-Cement bis zur Sinterung gebrannt werden, ein deutlich erkennbares Treiben erst nach etwa 1 Jahr und auch dann nur, wenn der Cement unter Wasser erhärtet; an der Luft tritt das Treiben noch weit später ein. Das Treiben der Magnesia-Cemente zeigt sich also sehr spät, ist aber dann um so heftiger. Es wurde auf die Gefährlichkeit dieser Cemente schon oben S. 18 aufmerksam gemacht.

Die treibenden Eigenschaften der gesinterten Magnesia-Cemente sind neuerdings von R. Dyckerhoff ausführlich beleuchtet worden. Auch wurde von demselben nachgewiesen, dass in einer Reihe von Fällen bedeutende, an grösseren Bauwerken beobachtete Schäden, welche man dem vermeintlich angewendeten Portland-Cement zur Last gelegt hat, auf die Benutzung von Magnesia-Cementen, die bis zur Sinterung gebrannt waren, zurückzuführen sind. (Vergl. Protokoll des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten 1889, S. 24.)

Schliesslich sei hier noch einer Erscheinung gedacht, welche nicht selten für „Treiben“ des Cements gehalten wird, ohne es in Wirklichkeit zu sein. Man beobachtet bisweilen, dass Probestücke aus reinem Cement, welche an der Luft liegen, beträchtlich an Festigkeit verlieren und nach einiger Zeit mürbe oder bröcklig werden, während Probekuchen desselben Cements, unter Wasser aufbewahrt, ein vollkommen tadelloses Verhalten zeigen. Der erwähnte Vorgang tritt besonders dann ein, wenn der Cement dünn angemacht wird und sofort nach dem Abbinden rasch austrocknet, wird hingegen in der Regel nicht beobachtet, wenn der Cement in der ersten Zeit der Erhärtung feucht gehalten wird. Diese an Probestücken beobachtete Erscheinung ist auch für die praktische Bewährung des Cements ohne Bedeutung, da Portland-Cement, welcher die besprochene Erscheinung zeigt, bei sachgemässer Verarbeitung[1]) auch bei Hochbauten (also an der Luft) sich durchaus bewährt, wenn er nur die Prüfung auf Volumbeständigkeit nach den Normen bestanden hat.

g) Verhalten gegen chemische Einflüsse.

Der pulverförmige Portland-Cement ist gegen chemische Einflüsse ziemlich empfänglich. Schon durch grössere Mengen von Wasser kann derselbe bei fortgesetztem Schütteln zersetzt werden. Ebenso ist er durch starke Säuren vollständig zerlegbar. Auch die Feuchtigkeit und die Kohlensäure der Luft wirken auf den Cement ein. Zuerst wird stets die Feuchtigkeit von dem Cement aufgenommen und nur bei ihrer Gegenwart die Kohlensäure. Durch die Einwirkung der Feuchtigkeit und Kohlensäure der Luft vollzieht sich das sogenannte Ablagern des Cements. Indem die erwähnten Agentien an der Oberfläche der Cement-Theilchen gebunden werden, bildet sich eine äusserst dünne Hülle, welche den Zutritt und die chemische Wirkung des Wassers verlangsamt. Hierdurch erklärt sich das langsamere Abbinden des gelagerten Cements. Gleichzeitig findet beim Lagern durch Zerfallen gröberer Körnchen eine Verfeinerung des Cements statt und indem hierdurch und durch die Aufnahme der Feuchtigkeit gewisse Spannungs-Zustände aufgehoben werden, wird die Volum-Beständigkeit vermehrt. Alle drei Faktoren: langsameres Abbinden, grössere Feinheit und grössere Volumen-Beständigkeit bewirken eine Vermehrung der Festigkeit, so dass also beim Ablagern des Cements eine Qualitäts-Erhöhung stattfindet. Dies gilt jedoch nur von guter Lagerung. Durch längeres Liegen in feuchter Luft wird dagegen der Cement knollig und stückig, bindet theilweise ab und wird zuletzt unbrauchbar. Man hat es sich deshalb von jeher angelegen sein lassen, den Cement durch Verpacken in Fässer vor dem Verderben zu schützen; in der That lässt sich der Cement in Fässern sehr lange aufbewahren, ohne an Bindekraft zu verlieren. Ueberhaupt ist der Portland-Cement weit dauerhafter als man früher annahm und selbst in Säcken verpackt, lässt es sich bei trockenem Lagern in geschlossenen Räumen monatelang wohl erhalten.

Ueber die Einwirkung der Luft und anderer Gase auf Cement wurden Versuche von Tomei mitgetheilt im Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1880 S. 4, 1881 S. 58—61 und 1889 S. 72—74.

Wesentlich widerstandsfähiger gegen chemische Einflüsse als in Pulverform ist der Cement in erhärtetem Zustande. Da Portland-Cement zur Mörtelbildung sehr wenig Wasser bedarf, so giebt derselbe einen sehr dichten

[1]) Vergl. S. 43.

Mörtel, dessen Poren sich beim Erhärten immer mehr schliessen, so dass derselbe in kurzer Zeit vom Wasser weder durchdrungen noch angegriffen wird. Unterstützt wird diese Unangreifbarkeit wohl auch noch dadurch, dass sich an der Oberfläche des Cements aus der im Wasser gelösten Kohlensäure oder den darin enthaltenen kohlensauren Verbindungen, kohlensaurer Kalk bildet, welcher im Wasser unlöslich ist. Diese hohe Widerstands-Fähigkeit des Cements gegen Wasser ist deshalb auch von der Bautechnik seit lange zur Herstellung wasserdichter Mörtel ausgenutzt worden.

Beim Erhärten an der Luft wird durch deren Kohlensäure-Gehalt ein grosser Theil des im Cement enthaltenen Kalks in kohlensauren Kalk umgewandelt und dieser Vorgang beeinflusst die Festigkeit in günstiger Weise. Gegen stärkere Säuren ist auch der erhärtete Cement nicht widerstandsfähig. Namentlich wirken diejenigen Säuren, welche sich mit dem Kalk zu löslichen Kalksalzen verbinden, also z. B. Salzsäure, Salpetersäure, Essigsäure, zerstörend auf den Cement ein, während diejenigen Säuren, welche mit dem Kalk unlösliche oder schwer lösliche Verbindungen geben, wie Schwefelsäure, Flusssäure (auch schweflige Säure, die an der Luft rasch schwefelsauren Kalk erzeugt) weit weniger schädlich wirken. Bei letzteren Säuren wird in der Regel durch Bildung eines nicht mehr angreifbaren Ueberzugs aus dem unlöslichen Kalksalz und der abgeschiedenen Kieselsäure des Cements der Angriff der Säuren derart vermindert und verzögert, dass sich der Cement auf lange Zeit hinaus als beständig erweist. (S. auch die Anmerkung S. 29).

Die reinen Alkalien (Kali, Natron, Ammoniak) sind auf den erhärteten Cement ohne Einfluss.

Die verschiedenen Salze verhalten sich gegenüber dem erhärteten Cement sehr verschieden. Es würde jedoch zu weit führen hier die Einwirkung aller Salze auf den Portland-Cement abzuhandeln. Wir beschränken uns daher darauf, die Wirkung der wichtigsten Salze kurz zu besprechen.

Die Lösungen der kohlensauren Alkalien (kohlensaures Kali, kohlensaures Natron, kohlensaures Ammoniak) wirken günstig auf die Erhärtung des Portland-Cements; sie bilden, unter Abscheidung freier Alkalien, mit dem Kalk des Cements kohlensauren Kalk, welcher zur Verkittung und somit zur Vermehrung der Festigkeit beiträgt.

Die Haloid-Salze der Alkalien: Kochsalz, Chlorkalium, Salmiak, haben keinen nachtheiligen Einfluss auf den erhärteten Cement.

Von den im Meerwasser enthaltenen Salzen sind namentlich das Chlormagnesium und die schwefelsaure Magnesia nachtheilig auf die Erhärtung des Cements. Wie oben erwähnt wird beim Erhärten des Portland-Cements Kalkhydrat ausgeschieden. Kommen nun die Lösungen jener beiden Salze mit dem Kalkhydrat des Cements in Berührung, so bilden dieselben Chlorcalcium und schwefelsauren Kalk, welche sich im Wasser auflösen, während unlösliches Magnesiahydrat abgeschieden wird. Es müsste daher, wenn das Seewasser dem Portland-Cement Mörtel alles ausgeschiedene Kalkhydrat nach und nach entziehen könnte, die Festigkeit des Cements im Meerwasser immer geringer werden und die Bauten aus Portland-Cement würden im Meerwasser mit der Zeit zu Grunde gehen. Dass dies nicht geschieht, ist dem Umstande zu verdanken, dass dem weitern Eindringen des Seewassers durch das äusserst dichte Gefüge des Mörtels aus Portland-Cement, welches mit zunehmendem Alter immer dichter wird, Einhalt geboten wird und dass zugleich die aus dem See-

wasser in den Poren des Mörtels abgeschiedene Magnesia schützend wirkt. In der That hat ja die Erfahrung gelehrt, dass sachgemäss hergestellte Seewasser-Bauten aus Portland-Cement (mit nicht zu magerem, weil dann porösem Mörtel) dem Angriff des Seewassers seit langen Jahren vollkommenen Widerstand geleistet haben.

Gegen die Einwirkung von Theer und Mineralölen ist der erhärtete Cement unempfindlich. Es beweisen dies u. a. in Gas- und Theerprodukten-Fabriken aus Portland-Cement hergestellte Theerbehälter, welche sich sehr gut bewährt haben.

Dagegen wirken die fetten Oele und Gerbsäure (auch sauer gewordenes Bier) nachtheilig auf den Portland-Cement ein. Indem sich der Kalk des Cements mit den Fettsäuren der Oele zu Kalkseifen verbindet, wird der Cement erweicht. Es lässt sich dies besonders an porösem Mörtel (3 und mehr Theile Sand auf 1 Theil Cement) beobachten, wogegen bei dichtem Mörtel (1 : 1), insbesondere wenn derselbe einige Zeit an der Luft gestanden und sich an der Oberfläche kohlensaurer Kalk gebildet hat, die Einwirkung kaum nennenswerth ist, so dass Oelbehälter aus Portland-Cement seit mehr als 20 Jahren sich vollkommen gut erhalten haben.

Kanalwässer sind, obwohl dieselben die verschiedensten Stoffe gelöst enthalten, ohne nachtheiligen Einfluss auf den erhärteten Portland-Cement, voraus gesetzt, dass sie nicht einen starken Säuregehalt besitzen. Es ist dies darin begründet, dass einerseits die Wirkungen der verschiedenen in die Kanäle gelangenden Stoffe sich zum Theil gegenseitig aufheben und andererseits, dass die in den Kanalwässern schwebenden fettigen und anderen schleimigen organischen Stoffe auf den Kanalwandungen eine sogenannte Sielhaut ablagern, welche die in Cement gemauerten oder aus Cementbeton bestehenden Kanäle vor jeder weitern Einwirkung der Kanalwässer schützt, so dass selbst verdünnte Säuren den Kanälen keinen Schaden zufügen. Es ist in dieser Beziehung die Erfahrung allein maassgebend, welche gelehrt hat, dass die in Portland-Cement hergestellten Kanäle zahlreicher Städte bei sorgfältigster Prüfung seit langen Jahren sich als tadellos erwiesen haben.[1])

h) Verhalten gegen hohe Hitze und Kälte.

Die Wärmegrade, welche warmes und selbst heisses Klima bedingen, sind auf die Erhärtung des Portland-Cements nicht nachtheilig, sofern nur dafür Sorge getragen wurde, dass dem Cement nicht vorzeitig das zur Erhärtung erforderliche Wasser entzogen, dass also der Mörtel in den ersten Tagen der Erhärtung genügend nass gehalten wurde. Auch die Siedetemperatur des Wassers ist für den erhärteten Cementmörtel noch nicht schädlich und die Erhärtung des Cements geht in heissem Wasser rascher vor sich als in kaltem. Bei Temperaturen über 100 ° hinaus fängt dagegen die Festigkeit an erheblich nachzulassen, bleibt aber dann constant[2]), doch verträgt guter Portland-Cement immer noch eine Wärme von 200—300 °. Von da an nimmt die Festigkeit rasch ab und bei dunkler Rothgluth wird der Mörtel mürbe. Gewölbe aus Cement-Beton, welche zur Aufnahme von Feuergasen dienten, ebenso Fabrik-Schornsteine, die ganz

[1]) Vergl. Deutsche Bauzeitung 1883, No. 4. woselbst sich auch Angaben finden, dass Chlorkalk Behältern aus Cement nicht schadet und dass selbst starke Säuren bei Gegenwart von organischen Stoffen Behälter aus Cement nicht angreifen.

[2]) Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1881. S. 50.

in Cementbeton ausgeführt worden sind, beweisen, dass der Mörtel aus Portland-Cement ziemlich hohe Temperaturen verträgt, ohne Noth zu leiden.

Gegen die Einwirkung des Frostes ist Portland-Cement von allen hydraulischen Bindemitteln am wenigsten empfindlich. Hat der Cement einmal abgebunden, so ist selbst starker Frost ohne jeden Nachtheil. Tritt der Frost während des Abbindens ein, so ist er insbesondere dann schädlich, wenn der Mörtel viel Wasser eingeschlossen hält (also zu nass war), so dass das gefrierende Wasser den Mörtel auseinander treibt. Bei sparsamem Wasserzusatz sind Mauerwerkskörper und Betonirungen schon bei strenger Kälte mit sehr gutem Erfolg ausgeführt worden. Man muss jedoch beachten, dass wie die Kälte alle chemischen Vorgänge verzögert so auch das Abbinden und Erhärten des Cements bei Kälte langsam vor sich geht. Cement-Arbeiten die bei Frostwetter ausgeführt wurden, zeigen deshalb anfangs eine geringere Festigkeit; sie erreichen aber später doch ihre normale Härte.

Als Beleg hierfür mag folgende Versuchsreihe dienen, welche wir dem Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1888, S. 40, entnehmen. Die Zahlen beziehen sich auf eingeschlagene Cementproben, welche sofort nach der Anfertigung bei — 6 ° R. in's Freie kamen — Nachts fiel die Temperatur auf — 9 ° R. —; dieselben geben die Zugfestigkeit in kg für 1 qcm an.

Mörtelmischung	1 Woche	1 Monat	3 Monate	6 Monate
1 Cement: 1 Sand . . .	21,6	27,0	26,3	56,4
1 Cement: 3 Sand . . .	9,1	16,8	21,8	46,4

Proben, welche dagegen bei Zimmerwärme im Wasser erhärteten, zeigten folgende Festigkeit:

	1 Woche	1 Monat
1 Cement: 1 Sand	28,3	31,7 Kilo.
1 Cement: 3 Sand	19,3	24,0 „

Weitere Zahlen über den Einfluss des Frostes auf die Festigkeit des Cements finden sich mitgetheilt im „Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten“ 1887, S. 41, 42 u. 65, in den „Mittheilungen der königl. technischen Versuchs-Anstalten zu Berlin“ 1889, S. 43 ff., sowie in der „Deutschen Bauzeitung“ 1888, No. 34.

Man hat für Cement-Mauerwerk, welches bei Frostwetter aufgeführt wurde, einen Zusatz von Kochsalz zum Mörtel empfohlen und angewendet. Ein solcher Zusatz ist jedoch nicht nur überflüssig, sondern sogar nachtheilig, weil er zu unangenehmen Ausblühungen des Mörtels Veranlassung giebt und feuchte Wände verursacht. Es ist, wenn man genöthigt ist bei strenger Kälte zu arbeiten, vorzuziehen, Wasser und Sand anzuwärmen und wenig Wasser anzuwenden um das Abbinden des Mörtels zu beschleunigen. Sorgt man also dafür, dass kein freies Wasser ausgeschieden, bezw. dass dasselbe durch trockene Steine abgesaugt wird, so hat man selbst von starkem Frost kaum etwas zu fürchten und kann die Anwendung des Kochsalzes ganz entbehren. Damit soll nun nicht gesagt sein, dass man Cementarbeiten bei Frostwetter ausführen soll; man braucht aber auch nicht übertrieben ängstlich zu sein.

Nur Verputzarbeiten in Cement sollte man bei Frost nicht vornehmen, besonders aber dieselben nicht stark reiben oder glätten, da solche Verputze erfahrungsgemäss durch den Frost leiden.

In Fälien, wo es nicht vermeidbar ist, bei Frostwetter zu arbeiten, wird es sich empfehlen, rasch bindenden Cement zu benutzen.

i) Vorzüge des Portland-Cements gegenüber andern hydraulischen Bindemitteln.

Fassen wir die vorstehend geschilderten Eigenschaften des Portland-Cements zusammen, so ergeben sich folgende Vorzüge desselben vor anderen Mörtelstoffen.

Beim Lagern ist der Portland-Cement sehr haltbar, insbesondere in weit höherem Grade als Roman-Cement und hydraulischer Kalk. Er besitzt eine ausserordentlich starke Erhärtungsfähigkeit und erreicht in wenig Tagen sowohl im Wasser wie an der Luft eine Festigkeit, welche andere Bindemittel erst nach Wochen oder Monaten oder überhaupt nie erlangen. Er verträgt daher auch einen höheren Sandzusatz als andere Mörtelstoffe. Vergleicht man die hydraulischen Bindemittel in gleich feinem Zustande, wie es zur Bildung eines richtigen Urtheils allein massgebend ist, so übertrifft der Portland-Cement alle anderen Mörtelstoffe hinsichtlich seiner Festigkeit, Wasserdichtigkeit und Haftfähigkeit am Stein. Vergleicht man aber den Portland-Cement ohne Berücksichtigung der Mahlung mit anderen Bindemitteln, welche die gleiche Zugfestigkeit haben, so übertrifft er dieselben stets an Druckfestigkeit. In Folge seiner hohen Dichte und der Eigenschaft bei der Mörtelbereitung wenig Wasser zu bedürfen, besitzt der Portland-Cement die höchste Widerstandsfähigkeit gegen äussere Einflüsse und einem Mörtel aus 1 Theil Portland-Cement und 1 Theil Sand kommt in Bezug auf Festigkeit und Widerstandsfähigkeit kein anderer Mörtel gleich. Die starken hydraulischen Eigenschaften des Portland-Cements, welche darauf beruhen, dass beim Erhärten in kurzer Zeit ein dicht geschlossenes, dem Wasser nicht mehr zugängliches Gefüge des Mörtels entsteht, machen ihn vorzugsweise zu Wasserbauten überhaupt, sowie insbesondere zu Meeresbauten und zur Herstellung wasserdichter Mörtel geeignet. Ferner ist der Mörtel aus Portland-Cement von hervor ragender Volumbeständigkeit und Wetterfestigkeit. Die Erfahrung hat längst mit der veralteten Anschauung gebrochen, dass der Portland-Cement nur für Wasserbauten oder für die Verwendung im Feuchten geeignet sei. Die vielseitige und langjährige Verwendung des Portland-Cements zu Werkstücken, Fussböden, Gewölben usw. bei Hochbauten beweisen zur Genüge, dass der Portland-Cement sich ebenso gut als Luft- wie als Wassermörtel eignet und es ist Thatsache, dass weitaus der grösste Theil der gesammten Erzeugung von Portland-Cement gerade zu Hochbauten verwendet wird.

Endlich besitzen wir in den Mörteln aus Portland-Cement mit hoher Sandbeigabe und etwas Kalkzusatz, den sogenannten Cement-Kalk-Mörteln, die besten Luftmörtel, welche es giebt und welche zugleich den Vorzug grosser Wohlfeilheit besitzen.

III. Zusätze zum Cement und deren Einflüsse.

Die Zusätze, welche dem Portland-Cement bisweilen gegeben werden, sind in solche zu unterscheiden, welche den Zweck haben, dem Cement gewisse Eigenschaften zu ertheilen und in solche, welche in gewinnsüchtiger Absicht geschehen. Zu der ersten Klasse gehören die zunächst zu betrachtenden Zusätze 1. von Gyps und 2. von Farbstoffen, während die betrügerischen Beimischungen in einem folgenden Abschnitt besprocheu werden sollen.

a) Zusatz von Gyps.

Der Zusatz von ungebranntem Gyps, welcher dem Cement beim Mahlen zugemischt wird, hat vorzugsweise den Zweck solchen Portland-Cementen, welche ihrer Natur nach sehr rasch abbinden, eine längere Abbindezeit zu geben und sie hierdurch zur Verwendung geeigneter zu machen. Die Wirkung des Gypses beruht jedenfalls daraut, dass der Gyps beim Anmachen des Cements im Mörtelwasser sich zunächst löst und hierauf in äusserst feiner Vertheilung auf den Cementtheilchen sich niederschlägt, ähnlich wie dies für den Kalk von F. Schott nachgewiesen worden ist. (Vergl. Dingler's Journal 202,52 und 209,30). Indem so die Cementtheilchen mit einer äusserst dünnen Hülle von Gyps umkleidet werden, wird die chemische Einwirkung des Wassers wesentlich verzögert. In Folge dessen wird das Abbinden verlangsamt und aus diesem Grunde (vielleicht auch durch eine gleichzeitig vorhandene chemische Wirkung) giebt der mit etwas Gyps vermischte Cement eine höhere Festigkeit als der unvermischte, rascher bindende Cement. Da zur Erzielung der gewünschten Wirkung ein Zusatz von $^1/_2$—2 % Gyps genügt, ein höherer Zusatz aber sich von selbst verbietet, da dann der Cement treibend wird, so kann von einer betrügerischen Absicht bei der Zumischung von Gyps überhaupt keine Rede sein, vielmehr muss ein solcher Zusatz innerhalb der zulässigen Grenzen als eine Verbesserung des Cements angesehen werden. Demgemäss sind auch in der von den Deutschen Portland-Cement-Fabriken vereinbarten Erklärung (s. unter c, S. 19) Zusätze, welche zur Regelung der Abbindezeit gemacht werden, bis zur Höhe von 2 % ausdrücklich als zulässig bezeichnet worden.

b) Zusatz von Farben.

Für gewisse, namentlich decorative Zwecke (bei der Fabrikation von Platten, Ornamenten, Verputzarbeiten u. dergl.) werden dem Cement bisweilen Farbstoffe zugesetzt. Es ist hierbei von organischen Farbstoffen (z. B. Anilinfarben) gänzlich abzusehen, da dieselben in der Regel in Verbindung mit Cement nicht haltbar sind oder die Festigkeit zu stark beeinträchtigen. Von den verwendbaren mineralischen Farben kommen vorzugsweise die folgenden in Betracht:

Schwarz und Dunkelgrau wird erzeugt durch Beigaben von Braun-

stein (Mangansuperoxyd) oder sogenanntem Cementschwarz (Kohlenschwärze), wie es gegenwärtig von den Schwärzefabriken mit recht guter Deckkraft geliefert wird.

Rother Cement wird erzielt durch Zusatz von Eisenoxyd (Caput mortuum) in seinen verschiedenen Abstufungen. Das feurige Ziegelroth erhält man aus dem sogenannten Pompejanischen Roth oder Englisch Roth, das mehr in's Violette gehende Sandsteinroth durch Mischungen der beiden erstgenannten mit etwas Schwarz oder durch Anwendung von violettrothem Caput mortuum.

Es ist zu beachten, dass das im Handel vorkommende Eisenroth bisweilen erhebliche Mengen von Schwefelsäure enthält und dann in Folge von Gypsbildung „Treiben" des Cements bewirken kann. Man überzeuge sich daher vor der Verwendung von der Brauchbarkeit der rothen Farbe, indem man etwa 20 % derselben zum Cement mischt und beobachtet, ob die Mischung unter Wasser Treiberscheinungen zeigt.

Gelber bis brauner Cement lässt sich durch Anwendung der verschiedenen Ockerarten herstellen.

Für Grün und Blau benutzt man grünes und blaues Ultramarin.

Weisser Cement kann aus Portland-Cement in Folge seines graugrünen Farbentons überhaupt nicht hergestellt werden. Möglichst hell wird der Mörtel durch Zusatz von reinem (möglichst eisenfreiem) gelöschtem Kalk bei gleichzeitiger Anwendung von weissem Sand oder gemahlenem Marmor.

Allgemein geltende Vorschriften für die Menge der zuzusetzenden Farbstoffe lassen sich nicht aufstellen, da dieselbe je nach dem Bedürfniss und der Deckkraft der Farben sehr wechselnd sein kann.

Die Farbstoffe wirken fast sämmtlich abmindernd auf die Festigkeit, am meisten die Ockerarten. Eine Ausnahme bildet das Ultramarin. Dieses kann dem Portland-Cement in sehr starken Procentsätzen (30 bis 40 %) zugemischt werden, ohne die Festigkeit zu beeinträchtigen. In schwächerer Beigabe bewirkt es sogar eine Erhöhung der Festigkeit. Die Wirkung beruht darauf, dass das Ultramarin hydraulische Eigenschaften besitzt (es enthält circa 70 % in Säure lösliche Kieselsäure und Thonerde) und cementartig erhärtet, indem es sich mit dem Kalkhydrat des Cements verbindet, wobei auch die äusserst feine Vertheilung desselben jedenfalls von beträchtlichem Einfluss ist.

c) Betrügerische Beimischungen.

Von Stoffen, welche dem Portland-Cement bisweilen in gewinnsüchtiger Absicht zugemischt werden, ohne dass dieselben deklarirt werden, kommen naturgemäss nur solche zur Anwendung, welche billig sind und in Rücksicht auf Farbe und Gewicht dem Portland-Cement möglichst nahe kommen. Es sind dies namentlich Schlacken, insbesondere Hochofen-Schlacken, grauer Kalkstein, Thonschiefer, hydraulischer Kalk (Schwarz- oder Graukalk) und Trass. Der beliebteste Zusatzstoff ist die Hochofen-Schlacke, weil dieselbe in feinpulverigem Zustande ein dem Portland-Cement sehr ähnliches Aussehen hat und deshalb selbst bei starker Beigabe zum Portland-Cement sich der Beobachtung am leichtesten entzieht.

Alle die erwähnten Zusätze wirken nun verschlechternd auf den Cement und zwar sowohl auf die Festigkeit als insbesondere auch auf die übrigen werthvollen Eigenschaften des Portland-Cements (Frost-Beständigkeit, Abnutzung, Adhäsion usw.), wie durch eingehende Versuche nachgewiesen worden ist.

Der Verein Deutscher Cement-Fabrikanten sah sich daher zu Anfang der 80er Jahre, als das Mischverfahren überhand zu nehmen drohte, veranlasst, mit aller Strenge gegen die Zumischung fremder Stoffe zum Cement einzuschreiten, um den guten Ruf des Deutschen Portland-Cements zu wahren und zugleich die Bautechnik vor Nachtheil und Gefahren zu schützen. Es hat in Folge dessen anderseits nicht an Versuchen gefehlt das Untermischen des Cements mit fremden Stoffen zu beschönigen. Man behauptete, dass für viele Zwecke die Festigkeit des Portland-Cements mehr als ausreichend sei und dass es im Interesse der Bautechniker liege, ihnen billigeren Cement mit immer noch genügender Festigkeit zu liefern. Ja man gab sogar vor, dass die angewandten Zusatzstoffe eine Verbesserung des Cements bewirkten, indem man sich auf Versuche von Prof. Tetmajer und Dr. Michaelis berief, welche durch gewisse Zuschläge eine Erhöhung der Festigkeit des Cements nachgewiesen hatten. Was den ersten Punkt betrifft, so wurde dagegen (von dem Verein) geltend gemacht, dass es dem Konsumenten überlassen bleiben müsse, wenn er sich den Cement verbilligen wolle, die gewünschten Zusatzstoffe selbst beizufügen. Werde letzteres dem Fabrikanten oder Händler gestattet, so sei dem Betrug Thür und Thor geöffnet und das Vertrauen des Publikums zu dem Portland-Cement werde vollständig erschüttert, da der Abnehmer nicht imstande sei, den Grad der Zumischung und die Beschaffenheit der zugemischten Stoffe zu erkennen und zu prüfen. In Betreff der behaupteten Verbesserung war zwar bekannt, dass durch Zusätze von Ultramarin, gefällter Kieselsäure, Thonerde-Präparaten und dergl. die Festigkeit des Cements gesteigert werden kann; doch ist es noch zweifelhaft, ob nicht die übrigen werthvollen Eigenschaften des Portland-Cements Einbusse erleiden und überdies sind solche Zuschläge durch ihren hohen Preis von selbst von der Verwendung ausgeschlossen. Wenn man sich aber auf die von Michaelis und Tetmajer zu ihren Laboratorium-Versuchen benutzten Zuschläge oder „Kompositionen“ berief, deren Zusammensetzung nicht bekannt gegeben wurde, so fehlte jeder Nachweis darüber, dass jene Zuschläge mit den von den mischenden Fabriken in Wirklichkeit zugesetzten Stoffen identisch waren. Thatsächlich verbessern nicht einmal die granulirten Hochofen-Schlacken, welche zur Herstellung von Puzzolan-Cement verwendet werden und mit Kalk gut erhärten, die Qualität des Portland-Cements. Die gewöhnliche gemahlene oder zerfallene Hochofen-Schlacke (und selbstredend auch der gemahlene Kalkstein) verschlechtern dagegen den Portland-Cement und sind lediglich als Ballast im Cement anzusehen. Um diese beiden Stoffe handelte es sich aber nachgewiesenermaassen vorzugsweise bei der Bekämpfung des Mischverfahrens und es stimmt damit überein, dass die in den Handel gebrachten gemischten Cemente sämmtlich geringwerthig waren und es bis heute geblieben sind.

Aus allen diesen Gründen ist der Verein Deutscher Cement-Fabrikanten, der seit 1888 den Namen „Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten“ führt, unablässig bemüht gewesen das Mischverfahren wo möglich ganz auszurotten. Er hat dies durch engeres Zusammenschliessen der Mitglieder erstrebt, indem er die Mitgliedschaft eines Cement-Fabrikanten von der Verpflichtung abhängig macht, die nachstehende „Erklärung“ zu unterschreiben.

Erklärung.

a) „Die unterzeichneten Mitglieder des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten verpflichten sich, unter der Bezeichnung „Portland-Cement“ nur ein Erzeugniss in den Handel zu bringen, welches dadurch

entsteht, dass eine innige Mischung von kalk- und thonhaltigen Stoffen als wesentlichen Bestandtheilen bis zur Sinterung gebrannt und bis zur Mehlfeinheit zerkleinert wird.

Jedes Erzeugniss, welches auf andere Weise als wie vor angegeben, entstanden ist, oder welchem während oder nach dem Brennen fremde Körper beigemischt wurden, wird von ihnen nicht als Portland-Cement anerkannt und der Verkauf derartiger Erzeugnisse unter der Bezeichnung „Portland-Cement" als eine Täuschung des Käufers angesehen.

Diese Erklärung bezieht sich nicht auf geringe Zusätze, welche zur Regelung der Abbindezeit des Portland-Cements gemacht werden und bis zur Höhe von 2 % zulässig sein sollen.

b) Ein Mitglied, welches der unter a) eingegangenen Verpflichtung zuwider handelt, soll vom Verein ausgeschlossen werden und es soll seine Ausschliessung öffentlich bekannt gemacht werden.

c) Indem die unterzeichneten Mitglieder diese Erklärung abgeben, erkennen sie zugleich an, dass der Vereinsvorstand die Einhaltung der unter a) von ihnen übernommenen Verpflichtung zu überwachen hat."

(Folgen die Unterschriften.)

Als der Vorstand des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten obige Erklärung im November 1888 veröffentlichte, hat er zugleich ein Begleitschreiben dazu versendet, welches zur weiteren Kennzeichnung des Standpunktes, den der Verein in dieser Frage einnimmt, hier ebenfalls mitgetheilt werden soll.

„Veranlasst ist diese Erklärung durch den Umstand, dass einige Fabriken noch immer mit fremden Stoffen vermischten Cement unter dem Namen „Portland-Cement" in den Handel gebracht haben, und dass aus anderen, als in der Begriffs-Erklärung der „Normen" genannten Grundstoffen hergestellte Cemente, als Portland-Cement verkauft worden sind, insbesondere dass solche Cemente, welche aus dolomitischen (stark magnesiahaltigen Gesteinen bis zur Sinterung erbrannt wurden, infolge dieser Zusammensetzung sehr gefährliche, oft erst nach Jahren hervortretende treibende Eigenschaften gezeigt haben.[1]) Alle diese Cemente haben nicht den Anspruch, unter dem Namen „Portland-Cement" in den Handel gebracht und nach den von dem Hrn. Minister der öffentlichen Arbeiten in Preussen für die Prüfung von Portland-Cement unterm 28. Juli 1887 erlassenen Normen beurtheilt zu werden.

Der Vorstand wird es sich nach Maassgabe der Bestimmungen der neuen Statuten des Vereins angelegen sein lassen, darüber zu wachen, dass die Unterzeichner der Erklärung den in derselben übernommenen Verpflichtungen nachkommen. Die Kontrole des Vorstandes wird sich aber nur auf etwaige Zumischungen nach dem Brennen, sowie auf die Grundstoffe, aus denen der Portland-Cement hergestellt sein soll, erstrecken. Unterschiede in der Güte der verschiedenen Portland-Cemente werden, wie bisher, vorhanden sein und muss es den Konsumenten überlassen bleiben, dieselben zu ermitteln und angemessen zu berücksichtigen."

Es steht zu hoffen, dass durch das geschlossene Vorgehen des Vereins Deutscher Portland - Cement - Fabrikanten dem Mischverfahren immer mehr der Boden entzogen und schliesslich zum Verschwinden gebracht wird, was sicherlich für die ganze Industrie sowie für die Bautechnik nur segensreich wirken kann.

[1]) Nach den bisherigen Erfahrungen ist ein Gehalt von 3 % Magnesia im Portland-Cement durchaus unschädlich. Ein wie hoher Prozentsatz zugelassen werden kann, ist aber noch nicht endgültig festgestellt.

IV. Prüfung des Portland-Cements.

Die Prüfung des Portland-Cements in chemischer und physikalischer Beziehung, speciell auf betrügerische Beimischungen, ist auf Grund der von den Mitgliedern des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten unterzeichneten Erklärung vom 28. November 1888 (s. oben S. 34) in die Hände des Vereins-Vorstandes gelegt worden. Da die von dem Vorstand benutzten chemischen und physikalischen Untersuchungsmethoden, welche zu klären und zu erweitern man bestrebt ist, von Laien nicht ausgeführt werden können, so soll von einer Beschreibung dieser Methoden hier abgesehen werden, zumal durch die Kontrole des Vereins-Vorstandes genügende Sicherheit dafür geboten ist, dass von den Mitgliedern des Vereins eine unverfälschte, der gegebenen Begriffs-Erklärung für Portland-Cement entsprechende Waare geliefert wird.

Mit der Gewissheit, dass ein Portland-Cement rein ist, hat man jedoch noch keine Gewähr für seinen Werth als Mörtelstoff. Die Güte eines Portland-Cements hängt ausser von der Güte der Rohmaterialien, wesentlich von der Sorgfalt ab, mit welcher der Cement hergestellt worden ist, (der richtigen chemischen Zusammensetzung, dem Grade des Brandes, der Mahlung usw.) und dies ist auch der Grund, warum in der Qualität der verschiedenen Portland-Cemente noch erhebliche Unterschiede vorhanden sind. Für die vergleichende Werthbestimmung der Portland-Cemente sind nun die Bindezeit, Volumbeständigkeit, Feinheit der Mahlung, die Zug- und Druckfestigkeit, von der grössten Bedeutung und die Prüfung auf diese Eigenschaften ist unerlässlich, wenn man sich über den Werth eines Cements ein richtiges Urtheil bilden will. Wir bezeichnen diese Prüfung kurz als

Normenprüfung.

Dieselbe hat also vorzugsweise den Zweck das mechanische Verhalten der Portland-Cemente kennen zu lehren. Ehe wir jedoch zu der Normenprüfung selbst übergehen, dürften einige Angaben über die Entstehung und Weiterbildung der Normen für Portland-Cement von Interesse sein.

Bis zum Jahre 1878 fehlte es vollständig an einheitlichen Methoden zur Beurtheilung des mechanischen Verhaltens der Cemente und es wurde zuerst im Jahre 1875 auf der Generalversammlung des „Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement“ (welchem die bedeutendsten Portland-Cementfabrikanten angehörten) aus dem Kreise der Cementfabrikanten der Antrag gestellt, es möge für Einführung eines einheitlichen Cementprüfungsverfahrens Sorge getragen werden. In Folge dessen wurde der Cementtechnicker Dr. Michaelis damit betraut, diejenigen Bedingungen zusammen zu stellen, die guter Portland-Cement zu erfüllen habe. Michaelis stellte hierauf eine Reihe von „Thesen“ auf, welche jedoch auf der folgenden Generalversammlung im Jahre 1876 nicht die Billigung der Cementfabrikanten erhielten. Man schritt daher zur Wahl einer Kommission, welche aus Mitgliedern des Deutschen Ziegler-

vereins, des Berliner Architektenvereins und des Vereins „Berliner Baumarkt“ bestand und im Laufe des Jahres 1876 in mehreren Sitzungen zur Abfassung entsprechender „Resolutionen“ gelangte. Diese Resolutionen wurden im Frühjahr 1877 den drei Vereinen sowie dem „Verein Deutscher Cementfabrikanten“ welcher inzwischen gegründet worden war, vorgelegt und gelangten in allen vier Vereinen zur Annahme. Die Beschlüsse der vier Vereine wurden nun dem königlich preussischen Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten als „Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement“ zur Einführung empfohlen. Der Minister der öffentlichen Arbeiten liess seinerseits die Beschlüsse der genannten vier Vereine nochmals durch einen Ausschuss von Sachverständigen prüfen, und erst nachdem dieser die „Beschlüsse“ mit unwesentlichen Aenderungen gutgeheissen hatte, wurden die „Normen“ mittelst Erlass vom 10. November 1878 vom Minister für öffentliche Arbeiten im Königreich Preussen eingeführt und später auch von den übrigen preussischen Ministerien angenommen. Zugleich nahmen die übrigen Deutschen Staaten die Normen an und die nunmehr „Deutschen Normen“ wurden das Vorbild für alle anderen Staaten, welche Cementprüfungs-Normen eingeführt haben (Oesterreich, die Schweiz, Russland usw.).

Nachdem die Normen eine Reihe von Jahren in Wirksamkeit gewesen und weitere Erfahrungen in Bezug auf das Prüfungsverfahren, den Sand usw. gesammelt worden waren, hielt der Verein Deutscher Cementfabrikanten eine Revision der Normen für nothwendig. Letztere wurde im Jahre 1886 beendigt, worauf der Verein wiederum beim Minister der öffentlichen Arbeiten um Genehmigung der revidirten Normen nachsuchte. Nachdem zunächst die Königl. Kommission zur Beaufsichtigung der technischen Versuchsanstalten in Berlin bezw. der Vorsteher der Königl. Prüfungsstation für Baumaterialien sich gutachtlich über die revidirten Normen geäussert hatte, wurden dieselben noch der Königl. Akademie des Bauwesens (unter Zuziehung der beiden Vorsitzenden des Cementfabrikanten-Vereins) vorgelegt und von dieser mit unwesentlichen Aenderungen einstimmig angenommen. In Folge dessen wurden die Normen in der revidirten Form mittelst Erlass vom 28. Juli 1887 vom Minister der öffentlichen Arbeiten eingeführt. Ihr Wortlaut ist folgender:

Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement.

Begriffserklärung von Portland-Cement.

Portland-Cement ist ein Produkt, entstanden durch Brennen einer innigen Mischung von kalk- und thonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandtheilen bis zur Sinterung und darauf folgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

I. Verpackung und Gewicht.

In der Regel soll Portland-Cement in Normalfässern von 180 kg brutto und etwa 170 kg netto und in halben Normalfässern von 90 kg brutto und etwa 83 kg netto verpackt werden. Das Brutto-Gewicht soll auf den Fässern verzeichnet sein.

Wird der Cement in Fässern von anderem Gewicht oder in Säcken verlangt, so muss das Brutto-Gewicht auf diesen Verpackungen ebenfalls durch deutliche Aufschrift kenntlich gemacht werden.

Streuverlust, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 % nicht beanstandet werden.

Die Fässer und Säcke sollen ausser der Gewichtsangabe auch die

Firma oder die Fabrikmarke der betreffenden Fabrik mit deutlicher Schrift tragen.

Begründung zu I.

Im Interesse der Käufer und des sicheren Geschäfts ist die Durchführung eines einheitlichen Gewichts dringend geboten. Hierzu ist das weitaus gebräuchlichste und im Welt-Verkehr fast ausschliesslich geltende Gewicht von 180 kg. brutto = etwa 400 Pfd englisch gewählt worden.

II. Bindezeit.

Je nach Art der Verwendung kann Portland-Cement langsam oder rasch bindend verlangt werden.

Als langsam bindend sind solche Cemente zu bezeichnen, welche erst in zwei Stunden oder in längerer Zeit abbinden.

Erläuterungen zu II.

Um die Bindezeit eines Cements zu ermitteln, rühre man den reinen langsam bindenden Cement 3 Minuten, den rasch bindenden 1 Minute lang mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glasplatte durch nur einmaliges Aufgeben einen etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern hin dünn auslaufenden Kuchen. Die zur Herstelluug dieses Kuchens erforderliche Dickflüssigkeit des Cementbreies soll so beschaffen sein, dass der mit einem Spatel auf die Glasplatte gebrachte Brei erst durch mehrmaliges Aufstossen der Glasplatte nach den Rändern hin ausläuft, wozu in den meisten Fällen 27—30 % Anmachwasser genügen. Sobald der Kuchen soweit erstarrt ist, dass derselbe einem leichten Druck mit dem Fingernagel widersteht, ist der Cement als abgebunden zu betrachten.

Für genaue Ermittelung der Bindezeit und zur Feststellung des Beginns des Abbindens, welche (da der Cement vor dem Beginn des Abbindens verarbeitet sein muss), bei raschbindenden Cementen von Wichtigkeit ist, bedient man sich einer Normalnadel von 300 g Gewicht, welche einen cylindrischen Querschnitt von 1 qmm Fläche hat und senkrecht zur Achse abgeschnitten ist. Man füllt einen auf eine Glasplatte gesetzten Metallring von 4 cm Höhe und 8 cm lichtem Durchmesser mit dem Cementbrei von der oben angegebenen Dickflüssigkeit und bringt denselben unter die Nadel. Der Zeitpunkt, in welchem die Normalnadel den Cementkuchen nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, gilt als der „Beginn des Abbindens“. Die Zeit, welche verfliesst, bis die Normalnadel auf dem erstarrten Kuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterlässt, ist die „Bindezeit“.

Da das Abbinden von Cement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern hohe Temperatur dasselbe beschleunigt, niedrige Temperatur es dagegen verzögert, so empfiehlt es sich, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei einer mittleren Temparatur des Wassers und der Luft von 15—18 ° Cels. vorzunehmen.

Während des Abbindens darf langsam bindender Cement sich nicht wesentlich erwärmen, wohingegen rasch bindende Cemente eine merkliche Wärmeerhöhung aufweisen können.

Portland-Cement wird durch längeres Lagern langsamer bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die noch vielfach herrschende Meinung, dass Portland-Cement bei längerem Lagern an Güte verliere, ist daher eine irrige und es sollten Vertragsbestimmungen, welche nur frische Waare vorschreiben, in Wegfall kommen.

III. Volumbeständigkeit.

Portland-Cement soll volumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, dass ein auf einer Glasplatte hergestellter und vor Austrocknung geschützter Kuchen aus reinem Cement, nach 24 Stunden unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf.

Erläuterungen zu III.

Zur Ausführung der Probe wird der zur Bestimmung der Bindezeit angefertigte Kuchen bei langsam bindendem Cement nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, unter Wasser gelegt. Bei rasch bindendem Cement kann dies schon nach kürzerer Frist geschehen. Die Kuchen, namentlich von langsam bindendem Cement, müssen bis nach erfolgtem Abbinden vor Zugluft und Sonnenschein geschützt werden, am besten durch Aufbewahren in einem bedeckten Kasten oder auch unter nassen Tüchern. Es wird hierdurch die Entstehung von Schwindrissen vermieden, welche in der Regel in der Mitte des Kuchens entstehen und von Unkundigen für Treibrisse gehalten werden können.

Zeigen sich bei der Erhärtung unter Wasser Verkrümmungen oder Kantenrisse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben" des Cements an, d. h. es findet in Folge einer Volumvermehrung ein Zerklüften des Cements unter allmäliger Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges statt, welches bis zum gänzlichem Zerfallen des Cements führen kann.

Die Erscheinungen des Treibens zeigen sich an den Kuchen in der Regel bereits nach 3 Tagen; jedenfalls genügt eine Beobachtung bis zu 28 Tagen.

IV. Feinheit der Mahlung.

Portland-Cement soll so fein gemahlen sein, dass eine Probe desselben auf einem Sieb von 900 Maschen pro Quadratcentimeter höchstens 10 % Rückstand hinterlässt. Die Drahtstärke des Siebes soll die Hälfte der Maschenweite betragen.

Begründung und Erläuterungen zu IV.

Zu jeder einzelnen Siebprobe sind 100 g Cement zu verwenden.

Da Cement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzusatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so grösser ist, je feiner der dazu verwendete Cement gemahlen war (weil dann mehr Theile des Cementes zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahlung des Cementes von nicht zu unterschätzendem Werthe. Es scheint daher angezeigt, die Feinheit des Korns durch ein feines Sieb von obiger Maschenweite einheitlich zu prüfen.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Cementes schliessen, da geringe, weiche Cemente weit eher sehr fein gemahlen vorkommen, als gute scharf gebrannte. Letztere aber werden selbst bei gröberer Mahlung doch in der Regel eine höhere Bindekraft aufweisen als die ersteren. Soll der Cement mit Kalk gemischt verarbeitet werden, so empfiehlt es sich, hart gebrannte Cemente von einer sehr feinen Mahlung zu verwenden, deren höhere Herstellungskosten durch wesentliche Verbesserung des Mörtels ausgeglichen werden.

V. Festigkeitsproben.

Die Bindekraft von Portland-Cement soll durch Prüfung einer Mischung von Cement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Zug- und Druckfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen, und zwar

mittelst Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Apparaten.

Daneben empfiehlt es sich, auch die Festigkeit des reinen Cements festzustellen.

Die Zerreissungsproben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche vorzunehmen.

Begründung zu V.

Da man erfahrungsgemäss aus den mit Cement ohne Sandzusatz gewonnen Festigkeits-Ergebnissen nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schliessen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Portland-Cementen aus verschiedenenFabriken handelt, so ist es geboten, die Prüfung von Portland-Cement auf Bindekraft mittelst Sandzusatz vorzunehmen.

Die Prüfung des Cementes ohne Sandzusatz empfieht sich namentlich dann, wenn es sich um den Vergleich von Portland-Cementen mit gemischten Cementen und anderen hydraulischen Bindemitteln handelt, weil durch die Selbstfestigkeit die höhere Güte bezw. die besonderen Eigenschaften des Portland-Cementes, welche den übrigen hydraulischen Bindemitteln abgehen, besser zum Ausdruck gelangen, als durch die Probe mit Sand.

Obgleich das Verhältniss der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit bei den hydraulischen Bindemitteln ein verschiedenes ist, so wird doch vielfach nur die Zugfestigkeit als Werthmesser für verschiedene hydraulische Bindemitteln benutzt. Dies führt jedoch zu einer unrichtigen Beurtheilung der letzteren. Da ferner die Mörtel in der Praxis in erster Linie auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen werden, so kann die massgebende Festigkeitsprobe nur die Druckprobe sein.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräthe zu benutzen, wie sie bei der Königlichen Prüfungsstation in Charlottenburg-Berlin in Gebrauch sind.

VI. Zug und Druckfestigkeit.

Langsam bindender Portland-Cement soll bei der Probe mit 3 Gewichtstheilen Normalsand auf ein Gewichtstheil Cement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimal-Zugfestigkeit von 16 kg pro Quadratcentimeter haben. Die Druckfestigkeit soll mindestens 160 kg pro Quadratcentimeter betragen.

Bei schnell bindenden Portland-Cementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen eine geringere, als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

Begründung und Erläuterungen.

Da verschiedene Cemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Cemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältniss wird angenommen: 3 Gewichtstheile Sand auf 1 Gewichtstheil Cement, da mit 3 Theilen Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Cementen in hinreichendem Masse zum Ausdruck gelangt.

Cement, welcher eine höhere Zugfestigkeit bezw. Druckfestigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen grösseren Sandzusatz und hat aus

diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie oft schon wegen seiner grösseren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Die massgebende Festigkeitsprobe ist die Druckprobe nach 28 Tagen, weil in kürzerer Zeit, beim Vergleich verschiedener Cemente, die Bindekraft nicht genügend zu erkennen ist. So können z. B. die Festigkeitsergebnisse verschiedener Cemente bei der 28 Tageprobe einander gleich sein, während sich bei einer Prüfung nach 7 Tagen noch wesentliche Unterschiede zeigen.

Als Controlprobe für die abgelieferte Waare dient die Zugprobe nach 28 Tagen. Will man jedoch die Prüfung schon nach 7 Tagen vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, wenn man das Verhältniss der Zugfestigkeit nach 7 Tagen zur 28 Tagefestigkeit an dem betreffenden Cement ermittelt hat. Auch kann diese Vorprobe mit reinem Cement ausgeführt werden, wenn man das Verhältniss der Festigkeit des reinen Cements zur 28 Tagefestigkeit bei 3 Th. Sand festgestellt hat.

Es empfiehlt sich, überall da, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben an zu diesem Zwecke vorräthig angefertigten Probekörpern auf längere Zeit auszudehnen, um das Verhalten verschiedener Cemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muss überall Sand von gleicher Korngrösse und gleicher Beschaffenheit benutzt werden. Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, dass man möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratcentimeter siebt, dadurch die gröbsten Theile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sand mittelst eines Siebes von 120 Maschen pro Quadratcentimeter noch die feinsten Theile entfernt. Die Drahtstärke der Siebe soll 0,38 mm beziehungsweise 0,32 mm betragen.

Da nicht alle Quarzsande bei der gleichen Behandlungsweise die gleiche Festigkeit ergeben, so hat man sich zu überzeugen, ob der zur Verfügung stehende Normalsand mit dem unter der Prüfung des Vorstandes des Deutschen Cementfabrikanten-Vereins gelieferten Normalsand, welcher auch von der Königlichen Prüfungsstation in Charlottenburg — Berlin benutzt wird, übereinstimmende Festigkeits-Ergebnisse giebt.

Beschreibung der Proben zur Ermittelung der Zug- und Druckfestigkeit.

Da es darauf ankommt, dass bei Prüfung desselben Cements an verschiedenen Orten übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden, so ist auf die genaue Einhaltung der im Nachstehenden gegebenen Regeln ganz besonders zu achten.

Zur Erzielung richtiger Durchschnittszahlen sind für jede Prüfung mindestens 10 Probekörper anzufertigen.

Anfertigung der Cement-Sand-Proben.

Zugproben.

Die Zugprobe-Körper können entweder durch Handarbeit oder durch maschinelle Vorrichtungen hergestellt werden.

a) Handarbeit. Man legt auf eine zur Anfertigung der Proben dienende Metall- oder starke Glasplatte 5 mit Wasser getränkte Blättchen Fliesspapier und setzt auf diese 5 mit Wasser angenetzte Formen. Man wägt 250 g Cement und 750 g trockenen Normalsand ab und mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander. Hierauf bringt man 100 ccm = 100 g reines süsses Wasser hinzu und arbeitet die ganze Masse 5 Minuten lang

tüchtig durch. Mit dem so erhaltenen Mörtel werden die Formen unter Eindrücken auf einmal so hoch angefüllt, dass sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittelst eines eisernen Spatels von 5 auf 3 cm Fläche, 35 cm Länge und im Gewicht von etwa 250 g den überstehenden Mörtel anfangs schwach und von der Seite her, dann immer stärker, so lange in die Formen ein, bis derselbe elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Ein bis zu diesem Zeitpunkt fortgesetztes Einschlagen von etwa 1 Minute pro Form ist unbedingt erforderlich. Ein nachträgliches Aufbringen und Einschlagen von Mörtel ist nicht statthaft, weil die Probekörper aus demselben Cement an verschiedenen Versuchsstellen gleiche Dichten erhalten sollen. – Man streicht nun das die Form Ueberragende mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche. Man löst die Form vorsichtig ab und setzt die Probekörper in einen mit Zink ausgeschlagenen Kasten, der mit einem Deckel zu bedecken ist, um ungleichmässiges Austrocknen der Proben bei verschiedenen Wärmegraden zu verhindern. 24 Stunden nach der Anfertigung werden die Probekörper unter Wasser gebracht und man hat nur darauf zu achten, dass dieselben während der ganzen Erhärtungsdauer vom Wasser bedeckt bleiben.

b) Maschinenmässige Anfertigung. Nachdem die mit dem Füllkasten versehene Form auf der Unterlagsplatte durch die beiden Stellschrauben festgeschraubt ist, werden für jede Probe 180 g des wie in a hergestellten Mörtels in die Form gebracht und wird der eiserne Formkern eingesetzt. Man giebt nun mittelst des Schlagapparates von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge auf den Kern.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, sammt der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im übrigen behandelt wie unter a.

Bei genauer Einhaltung der gegebenen Vorschriften geben Handarbeit und maschinenmässige Anfertigung gut übereinstimmende Ergebnisse. In streitigen Fällen ist jedoch die maschinenmässige Anfertigung die massgebende.

Druckproben.

Um bei Druckproben an verschiedenen Versuchsstellen zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, ist maschinenmässige Anfertigung erforderlich.

Man wiegt 400 g Cement und 1200 g trockenen Normalsand ab, mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander, bringt 160 ccm = 160 g Wasser hinzu und arbeitet den Mörtel 5 Minuten lang tüchtig durch. Von diesem Mörtel füllt man 860 g in die mit Füllkasten versehene und auf die Unterlagsplatte aufgeschraubte Würfelform. Man setzt den eisernen Kern in die Form ein und giebt auf denselben mittelst des Schlagapparats von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, mit der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im übrigen behandelt wie unter a.

Anfertigung der Proben aus reinem Cement.

Man ölt die Formen auf der Innenseite etwas ein und setzt dieselben auf eine Metall- oder Glasplatte (ohne Fliesspapier unterzulegen). Man wiegt nun 1000 g Cement ab, bringt 200 g = 200 ccm Wasser hinzu und arbeitet die Masse (am besten mit einem Pistill) 5 Minuten lang durch, füllt die Formen stark gewölbt voll und verfährt wie unter a. Die

Formen kann man jedoch erst dann ablösen, wenn der Cement genügend erhärtet ist.

Da beim Einschlagen des reinen Cements Probekörper von gleicher Consistenz erzielt werden sollen, so ist bei sehr feinem oder bei rasch bindendem Cement der Wasserzusatz entsprechend zu erhöhen.

Der angewandte Wasserzusatz ist bei Nennung der Festigkeitszahlen stets anzugeben.

Behandlung der Proben bei der Prüfung.

Alle Proben werden sofort bei der Entnahme aus dem Wasser geprüft. Da die Zerreissungsdauer von Einfluss auf das Resultat ist, so soll bei der Prüfung auf Zug die Zunahme der Belastung während des Zerreissens 100 g pro Sekunde betragen. Das Mittel aus den 10 Zugproben soll als die massgebende Zugfestigkeit gelten.

Bei der Prüfung der Druckproben soll, um einheitliche Ergebnisse zu wahren, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenflächen und die bearbeitete obere Fläche. Das Mittel aus den 10 Proben soll als die massgebende Druckfestigkeit gelten.

Zu diesen Normen sollen hier noch einige Erläuterungen über das Prüfungsverfahren, sowie über die Prüfungsgeräthschaften gegeben werden.

In Bezug auf die Prüfung der Volumbeständigkeit des Portland-Cements ist zunächst zu erwähnen, dass ausser der in die Normen aufgenommenen Probe noch verschiedene andere Prüfungen, wie die Darrprobe, die Koch-, Dampf-, Glühprobe u. a. empfohlen worden sind. Alle diese Proben geben jedoch leicht zu Täuschungen Veranlassung. Man ist daher immer wieder zu der Volumbeständigkeitsprobe der Normen als der zuverlässigsten Probe zurückgekehrt. Auf den Unterschied zwischen Treibrissen und Schwindungsrissen und solchen Rissen, welche durch zu frühes Einlegen der Proben in Wasser entstehen, ist bereits oben aufmerksam gemacht worden und verweisen wir hier auf das S. 9 u. 10 Gesagte.

Betreff des Normalsandes hat man die Erfahrung gemacht, dass reine Quarzsande von verschiedenen Fundstätten bei völlig gleicher Korngrösse doch beträchtlich abweichende Festigkeitsergebnisse liefern können infolge verschieden beschaffener Oberfläche der Sandkörner. Es blieb daher nichts weiter übrig als den Sand einer einzigen Fundstätte als typisch aufzustellen, wonach alle anderen Normalsande sich zu richten haben. Es ist dies ein sehr reiner Grubensand, welcher sich in grosser Mächtigkeit und Gleichmässigkeit bei Freienwalde a. d. Oder findet. Aus diesem Sande wird unter der Kontrole des Vorstandes des Vereins deutscher Portland-Cementfabrikanten der Normalsand hergestellt, welcher von der Königl. Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin-Charlottenburg ausschliesslich benutzt wird. Dieser Normalsand kann von dem Laboratorium für Thonindustrie (Prof. Dr. Seger und Dr. Aron) in Berlin NW., Kruppstrasse 6, jederzeit bezogen werden. Soll ein anderer Quarzsand als Normalsand zu Festigkeitsversuchen benutzt werden, so hat man sich stets zu überzeugen, ob der betreffende Sand mit dem Berliner Normalsand übereinstimmende Festigkeitszahlen liefert, mindestens aber ist das Verhältniss fest zu stellen, in welchem die Festigkeit des benutzten Sandes zu der Festigkeit des Berliner Normalsandes steht.

Bemerkt sei noch, dass sich in verschiedenen Gegenden Deutschlands Sande finden, welche mit dem Berliner Normalsand übereinstimmende Festigkeitszahlen liefern.

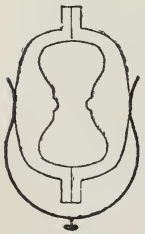
Es ist wünschenswerth, dass man behufs Vergleichung der in verschiedenen Ländern gefundenen Festigkeitswerthe sich über einen internationalen Normalsand einigt, was bisher noch nicht gelungen ist. Vorerst sind die in verschiedenen Staaten mit Portland-Cement erhaltenen Prüfungsergebnisse nicht direkt mit einander vergleichbar. Es sei deshalb darauf hingewiesen, dass z. B. der russische Normalsand wesentlich niedrigere, der schweizer Normalsand beträchtlich höhere Festigkeiten liefert, wie der deutsche.

Ueber die Zeit, während welcher die Probekörper in den Formen bleiben sollen, sind in den Normen ganz bestimmte Angaben nicht gemacht. Der Verein deutscher Portland-Cementfabrikanten hat sich jedoch mit der Königl. Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin-Charlottenburg dahin geeinigt, dass die Druckprobekörper stets erst nach dem Abbinden des Mörtels d. h. 20—24 Stunden nach der Anfertigung aus den Formen zu nehmen sind. Dagegen können die Zugprobekörper, welche mit dem Schlagapparat angefertigt werden, sofort der Form entnommen werden, während es bei Zugproben, welche durch Handarbeit erzeugt werden (da sie etwas weicher sind als die im Apparat erhaltenen) zu empfehlen ist, dieselben ebenfalls bis nach dem Abbinden in den Formen zu belassen.

Bei der Anfertigung der Probekörper aus rasch bindendem Cement ist besonders zu beachten, dass die Herstellung der Proben beendet sein muss, ehe das Abbinden beginnt. Der Cement wird sonst verdorben und man erhält eine zu geringe Festigkeit. Man arbeitet daher den Mörtel aus raschbindendem Cement statt 5 Minuten nur 1 Minute lang durch und beschleunigt die Anfertigung der Zugproben dadurch, dass man statt der Maschinenarbeit Handarbeit anwendet. Bei sehr rasch bindenden Cementen ist nöthigenfalls nur eine für 2 Zugproben bezw. für einen Würfel ausreichende Mörtelmenge anzumachen und der Wasserzusatz etwas über 10 % zu erhöhen. Für Proben aus reinem Cement wird der Mörtel am besten so dünn angemacht, dass man ihn in die Formen giessen kann. Ueber die Prüfung raschbindender Cemente nach den Normen findet sich ein eingehender Vortrag von F. Schiffner im Protokoll des Vereins deutscher Cementfabrikanten 1888 S. 61—65 und muss hier inbetreff des Näheren darauf verwiesen werden.

Ueber die Geräthschaften zur Prüfung des Portland-Cements ist zunächst zu bemerken, dass dieselben in vorschriftsmässiger Ausführung von dem „Laboratorium für Thonindustrie“ in Berlin geliefert werden. Ueber Einrichtung und Gebrauch der Apparate diene noch folgendes.

Abb. 1.



Die Formen für Zugprobekörper, welche durch Handarbeit erzeugt werden sollen, können die in Abb. 1 dargestellte Einrichtung haben. Die Form besteht aus zwei Theilen mit Führungsstiften an den Flanschen und wird durch einen starken, federnden Bügel genügend fest zusammen gehalten, während anderseits die Theile sich leicht und rasch wieder auseinander nehmen lassen. Die Formen für Zugproben, welche mittelst des Böhme'schen Hammerapparates hergestellt werden sollen, müssen dagegen, entsprechend den stärker wirkenden Schlägen des Apparates, durch Schrauben auf einer eisernen Unterlage unverrückbar fest gehalten werden, ebenso wie dies auch bei den Würfelformen für die Druckproben geschehen muss. Letztere Einrichtung ist aus der Abb. 2, 4 und 5 zu ersehen.

Abb. 2.

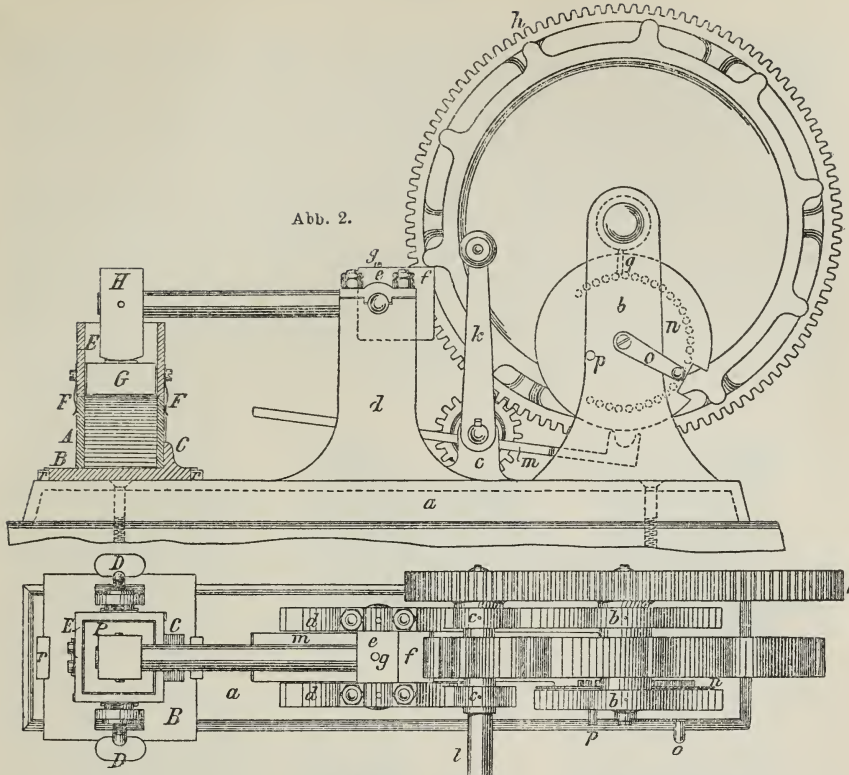


Abb. 4.

Abb. 3

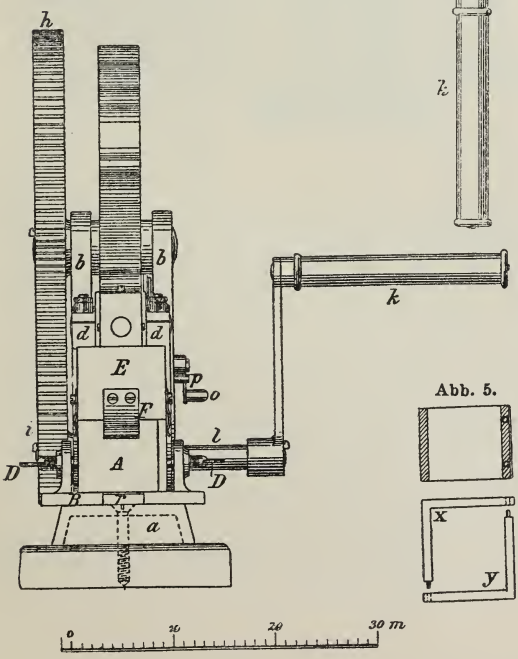


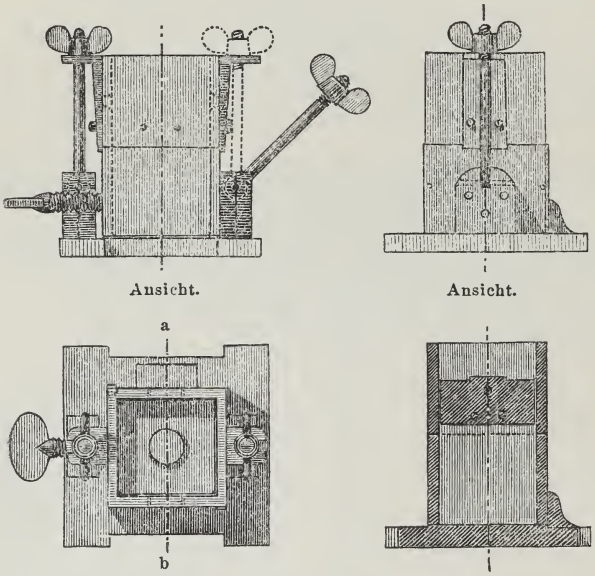
Abb. 5.

Der Hammerapparat von Dr. Böhme ist in den Abb. 2, 3 und 4 dargestellt. Im wesentlichen ein Schwanzhammer, besteht derselbe aus der gusseisernen Grundplatte *a*, welche mit 3 Paar Lagerböcken *b*, *c* und *d* aus einem Stück gegossen und durch Schrauben auf einem sehr feststehenden Tisch oder einem gemauerten Klotz befestigt ist.[1]) Der zwischen den Lagerböcken *d d* und in denselben gelagerte Kreuzkopf *e* trägt den arbeitenden Theil des Apparats, den stählernen Hammer *H*,

[1]) Eine gute Befestigung ist von Wichtigkeit, damit beim Einschlagen der Proben keine federnde Bewegung entsteht, welche die zu erzielende Festigkeit in nachtheiliger Weise beeinflusst.

dessen schmiedeiserner Schwanz *f* mitteltst einer Hülse in den Kreuzkopf eingepasst ist, um ihn bei eintretender Abnutzung entweder umdrehen oder leicht erneuern zu können. Der aus Hickory-Holz bestehende Hammerhelm befindet sich im Hammerschwanz und in der Hülse in guter Einpassung, sowie Hammerhelm und Hammerschwanz, welche beide ausbalanzirt sind, mittelst des Stiftes *g* mit dem Kreuzkopf *e* in fester Verbindung. An dem vorderen Ende des Hammerhelms befindet sich der eigentliche, 2 kg wiegende Hammer aus Stahl, durch einen Stift in lösbarer Verbindung mit dem Stiel. Die Lagerböcke *b b* tragen eine Achse mit 10zähnigem Daumenrad, welches durch ein auf derselben Achse aber ausserhalb der Lagerböcke befindliches Vorgelegerad *h* getrieben wird. Dieses erhält seine Bewegung von dem Getriebe *i*, welches mittelst der Kurbel *k* und der Welle *l* angetrieben wird und hierdurch den Betrieb des Hammers bewirkt, der in angemessenen Zwischenräumen seine Schläge auf die Mörtelmasse ausübt, welche in die auseinander nehmbare Form *A* mit Aufsatzkasten *E* gebracht und mit dem eingepassten Formkern *G* bedeckt worden ist. Die Kurbelwelle *l* ist in den Böcken *c c* gelagert und zwischen diesen befindet sich, frei auf der Kurbelwelle drehbar, die Sperrklinke *m*, deren linker Theil schwerer ist als der rechte, wodurch letzterer gegen die Scheibe *n* gedrückt wird, die sich an der hinteren Seite des vorderen Lagerbockes *b* befindet und fest auf einer durch den Bock *b* getragenen Axe sitzt. Letztere trägt gleichzeitig eine kleine Kurbel *o*, mittelst welcher die Scheibe *n* gedreht werden kann. Diese Drehung hat, bevor der Apparat in Thätigkeit tritt, soweit zu erfolgen, dass die Kurbel *o* an den Stift *p* anschlägt. Auf der einen Ausschnitt zeigenden Scheibe *n* sind 15 Stifte angebracht, welche ein auf der Nabe des Daumenrades befindlicher Mitnehmer *q* in der Weise erfasst, dass bei jeder vollen Umdrehung des 10 Daumen enthaltenden Daumenrades die Scheibe *n* um einen Stift weitergeschoben wird. Nach 15 Umdrehungen des Daumenrades oder 150 Hammerschlägen ist der Ausschnitt der Scheibe *n* so weit herumgedreht, dass die Sperrklinke *m* in den Ausschnitt einfällt und gleichzeitig einen Daumen des Daumenrades festhält.

Abb. 6.



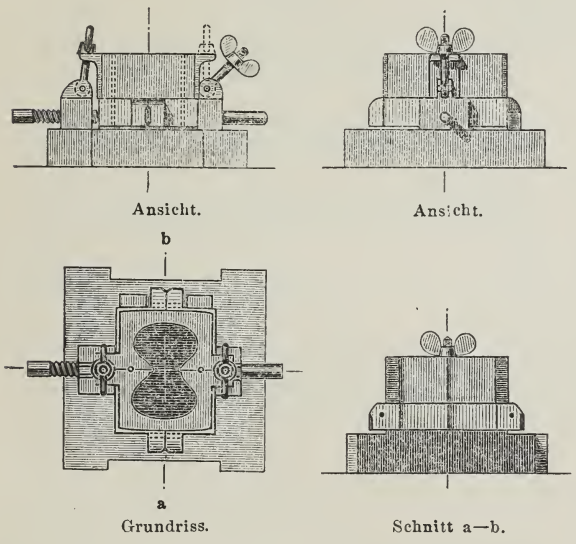
Ansicht. Ansicht. Grundriss. Schnitt a—b.

Zur Aufnahme der Mörtelmasse des Probekörpers dient ein in 2 Theile *x* und *y* (Abb. 5) zerlegbarer Formkasten *A*, Abb. 2, für Würfel von 50 qcm Seitenfläche. Derselbe ist mit einem Aufsatzkasten *E* von gleicher Dimension, Abb. 2, durch vier passend angebrachte Federn lösbar ver-

bunden. Empfehlenswerther ist eine Verbindung durch umlegbare Schrauben mit Flügelmuttern, wie aus den Abb. 6 u. 7 ersichtlich, da bei Erschlaffung der Federn ein Rückprall des Füllkastens unter den Hammerschlägen stattfindet, durch welchen der Mörtel im oberen Theile der Form gelockert und die Festigkeit stark beeinträchtigt werden kann. Der Formkasten mit seinem Aufsatz wird von einer gehobelten, mit einem Anschlag *C* versehenen Unterlagsplatte *B* aufgenommen und auf derselben mittelst der Flügelschraube *D* festgespannt.

Zur Aufnahme der Hammerschläge (nachdem die Form mit 860 gr Mörtel gefüllt ist) und zur gleichmässigen Vertheilung derselben über die Mörtelmasse dient die Ambosplatte *G*, welche in den gefüllten Aufsatz vorsichtig einzubringen und mit der Hand soweit in denselben einzudrücken ist, dass ihre Oberkante mit der Oberkante des Aufsatzes in einer Ebene liegt. Der gefüllte und in die Unterlagsplatte festgespannte Formkasten wird jetzt mit derselben so in den Apparat gebracht, dass die Aussparungen der Platte *B* durch die Leisten *r* der Grundplatte *a* des Apparats ausgefüllt werden. Hierauf wird der linke Theil der Sperrklinke so weit angehoben, dass die Nase am Ende des rechten Theils derselben aus dem Ausschnitt der Scheibe *n* heraustritt, die Kurbel *o* an den Anschlagstift *p* gebracht und das Rädervorgelege mit Daumenrad mittelst der Kurbel *k* in eine so langsame Bewegung gesetzt, dass jeder Hammerschlag voll zur Wirkung gelangt. Nach erfolgter Ausrückung des Hammers (bei dem 150. Schlag) ist die Unterlagsplatte *B* mit dem darauf gespannten Formkasten aus dem Apparat zu nehmen und der Aufsatzkasten vorsichtig nach oben abzuziehen, indem man mit Vortheil einen kleinen, etwa 5 cm dicken Holzklotz auf die Ambosplatte *G* bringt, beide Hände so an den Aufsatzkasten legt, dass die Daumen den Holzklotz nach unten drücken, während die übrigen Finger — den Aufsatz von aussen berührend — das Abziehen des Aufsatzes nach oben bewirken. Nach Entfernung des Holzklotzes von der Ambosplatte zieht man letztere horizontal ab, schneidet den Mörtel ab, glättet denselben, löst die Flügelschrauben *D* und zieht den Probekörper sammt der Form von der Unterlagsplatte ab.

Abb. 7.

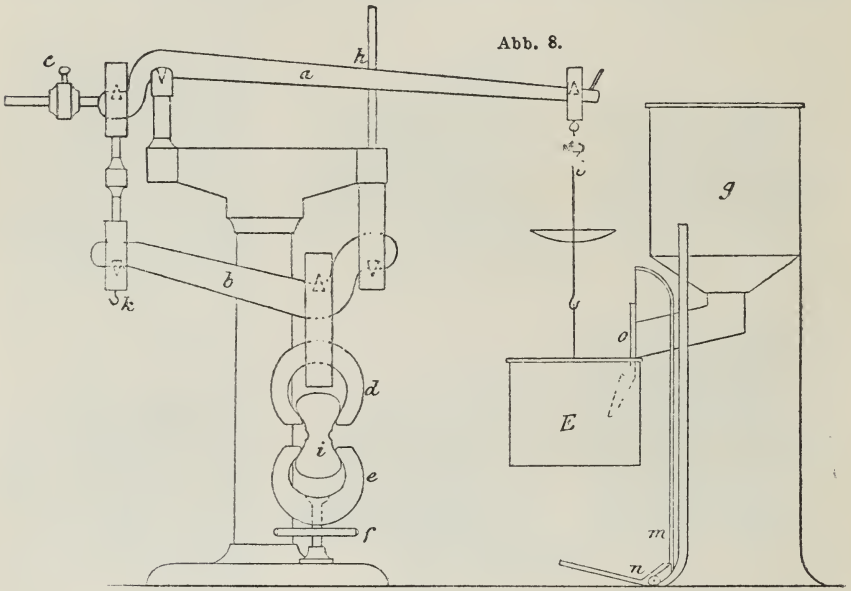


Der Schlagapparat sowohl wie die zugehörigen Formen können durch Vermittelung der Königl. Prüfungsstation in Berlin-Charlottenburg bezogen werden.

Zur Bestimmung der Zugfestigkeit bedient man sich des nebenstehend

abgebildeten Zerreissungsapparats, Abb. 8. Es ist dies ein Hebelapparat mit 50facher Uebersetzung, indem das Verhältniss der Arme des oberen Hebels *a* 1 : 10 und dasjenige des unteren Hebels *b* 1 : 5 ist. Für den Gebrauch des Apparats beobachte man folgende Regeln. — Nachdem der Apparat in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise zusammengestellt ist, wird das Hebelsystem bei angehängtem Schalenbügel *l*, aber unter Weglassung des Eimers *E* durch entsprechendes Verschieben und Festschrauben des Laufgewichts *c* derart in das Gleichgewicht gebracht, dass die obere Seite des Hebels *a* mit der am Ständer *h* angebrachten Marke zusammenfällt. Darnach wird der Eimer *E* an den Schalenbügel *l* gehängt und die Cementprobe *i* so zwischen die Klauen *d* und *e* eingeschoben, dass die geraden Enden der letzteren in gegenseitig parallele Lage kommen, um schiefe Zugrichtung innerhalb der Probe zu vermeiden.

Abb. 8.



Hierauf wird durch entsprechende Drehung des Rädchens *f* das Hebelsystem so weit angespannt, dass der Eimer möglichst hoch hinter der Ausflussmündung des Schrotzuführers *g* ansteigt, welcher mit der nöthigen Schrotmenge gefüllt und wie aus der Abbildung ersichtlich aufgestellt worden ist. Man hebt nun die Stange *m* des Schrotzuführers und lässt den Zahn *n* in dieselbe eingreifen, wodurch der Abschluss *o* geöffnet wird und der Zulauf des Schrotes beginnt. Dieser ist so geregelt, dass in der Sekunde 100 Gramm Schrot in den Eimer laufen. In dem Augenblick des Bruches der Cementprobe durch die angewachsene Eimerlast, fällt der Eimer und löst dadurch den Zahn *n* aus, so dass sich die Ausflussöffnung von selbst schliesst. Das Gewicht des Eimers sammt Füllung ermittelt man am einfachsten und mit genügender Schärfe mittelst einer guten Federwaage. Da die Last mit 50facher Kraft wirkt und der Querschnitt der Probe 5 Quadratcentimeter beträgt, so ergiebt sich, dass das in kg gefundene Gewicht mit 10 zu multipliziren ist, um die Kilogramm-Zahl für 1 Quadratcentimeter zu finden. (Es lässt sich auch der Hebelapparat

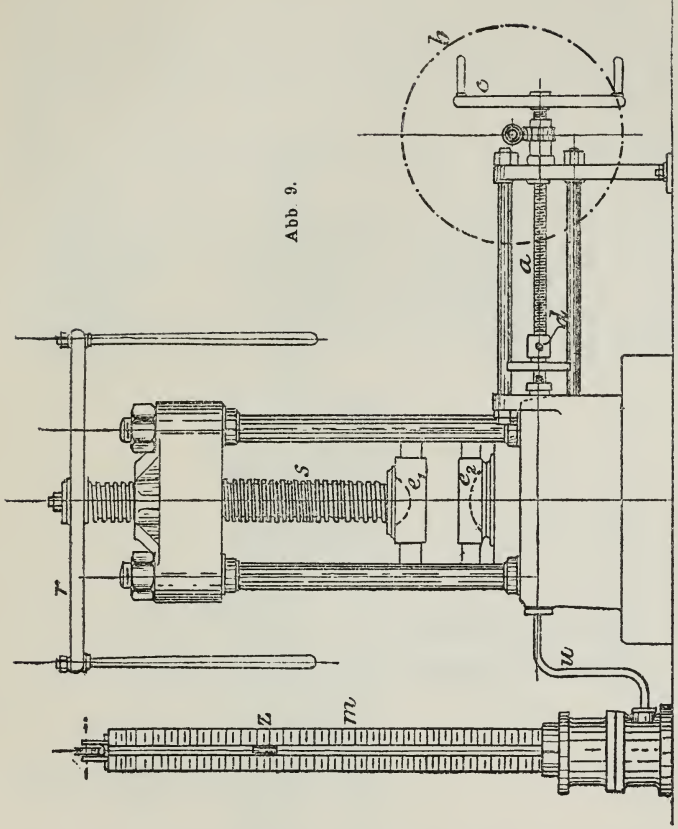


Abb. 9.

selbst als Waage benutzen, wenn man den Eimer sammt Schrot an den Haken *K* des oberen Hebelarmes *a* hängt, der dann als Dezimalwaage wirkt (Hebelarme = 1 : 10) und durch Auflegen von Gewichten auf die Schale des Bügels *l* ins Gleichgewicht bringt.

Die Druckfestigkeit der Cementprobekörper wird mittelst hydraulischer Pressen oder der Schickert'schen Hebelpresse bestimmt.

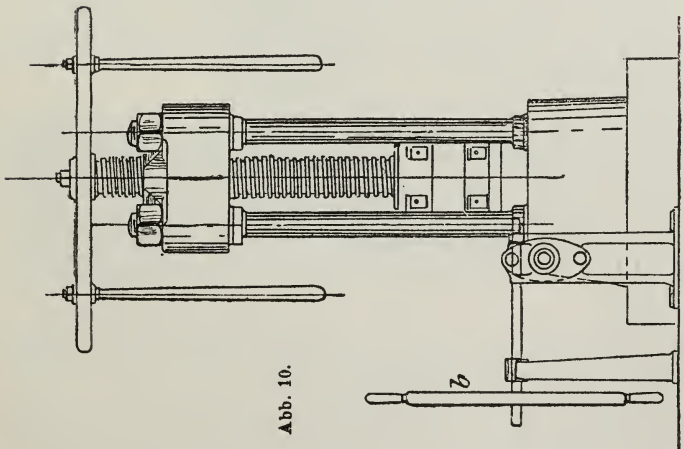


Abb. 10.

Eine handliche, dem Zweck entsprechende hydraulische Presse ist die Presse von Brink & Hübner in Mannheim, welche die Abbildungen 9—11 wiedergeben. Beim Gebrauch derselben wird zuerst die

Schraubenspindel *a* durch Drehung des Handrades *c* so weit als möglich herausgedreht. Hierauf hebt man durch Drehung der Schraube *s* mittelst des Rades *r* den oberen Pressbacken e_1 so weit, dass der Probekörper zwischen die Pressplatten e_1 und e_2 geschoben werden kann, deren senkrechte Druckwirkung dadurch gesichert ist, dass dieselben auf halbkugelförmigen Lagern ruhen. Hierauf dreht man die Schraube *s* fest an und treibt die Spindel *a* durch Drehung des Handrades *b* in die Presse, die mit Glycerin gefüllt ist. Der erzeugte Druck wird auf dem Quecksilbermanometer *m*, welches durch das Rohr *u* mit der Presse in Verbindung steht, abgelesen; die eine Seite des Manometers zeigt den Druck in Atmosphären, die andere in Kilogramm an. Sobald der Probekörper zerstört ist steht das Manometer still und der Zeiger *z* giebt den höchsten erreichten Druck an. Bei Probekörpern von 50 qcm hat man nur mit 50 in die abgelesene Zahl zu dividiren, um den Druck in Kilogramm für 1 qcm zu finden. Zum schnellen Rückgang des Druckes wird die Kuppel *d* gelöst und das Handrad *c* gedreht. — Die Pressen werden in verschiedenen Grössen bis zu

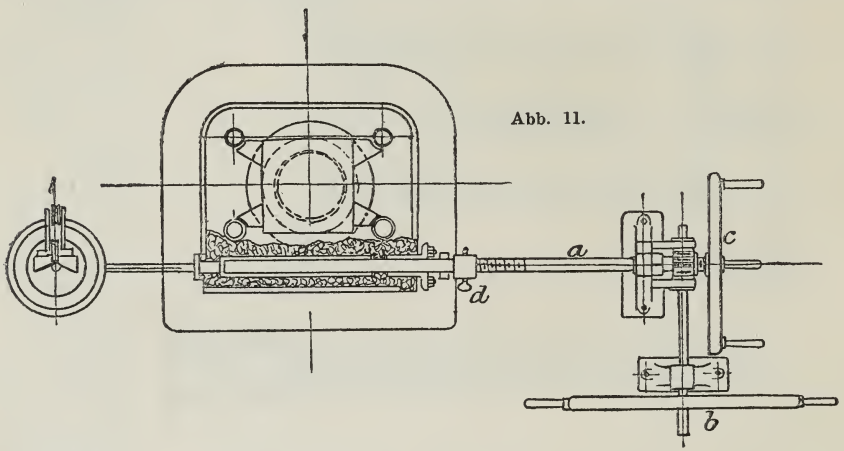


Abb. 11.

150 000 kg Gesammtdruck geliefert. Für Cementprüfungen wird in der Regel eine Presse mit einem Maximaldruck von 50 000 kg ausreichend sein

Einen ähnlichen, sehr kompendiösen Apparat, welcher die Prüfung auf Zug-Druck- und Adhäsions-Festigkeit gestattet, konstruirte Hr. Ingenieur Suchier (Tiefbauamt-Frankfurt a. M.), Abb. 12a—c.

Der Apparat nimmt nicht mehr Raum als ein stehender Knabe ein. Die Handhabung ist leicht und einfach und auch die einzelnen Untersuchungen können leicht bewirkt werden. Der Kraftbedarf des Apparats wird durch Oel, welches unter Druck steht, beschafft, der Druck durch zwei Doppel-Kontrol-Bourdon-Manometer angezeigt.

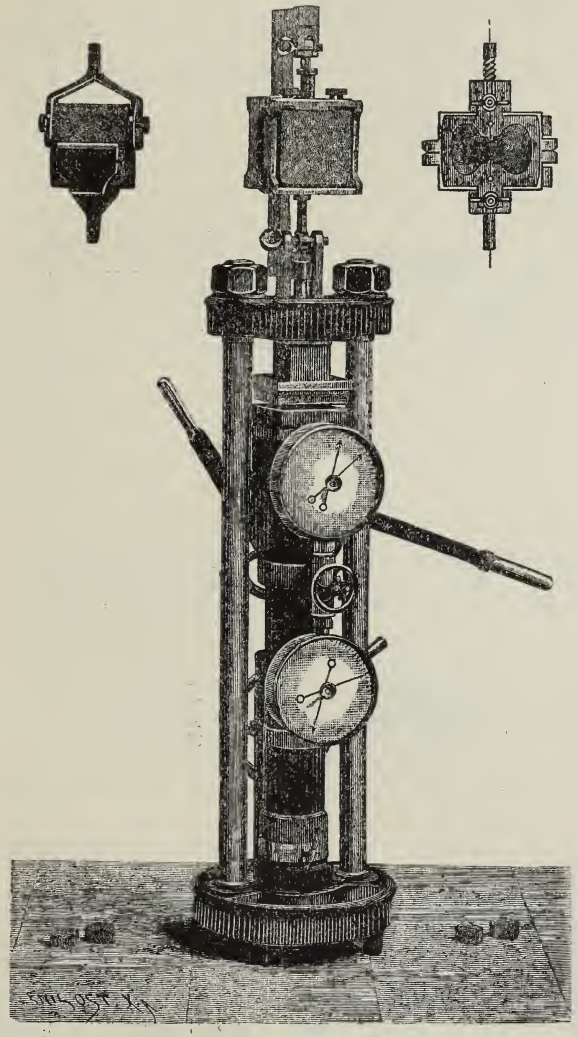
Das untere Doppel-Kontrol-Manometer giebt den Druck bis zu 50 kg auf 1 qcm auf 0,10 kg, das obere Manometer bis 500 kg auf 1 qcm auf 1,0 kg auf 1 qcm genau an.

Die Manometer arbeiten bis auf 50 kg zusammen; von da an wirkt das obere für sich. Hierdurch ist bewirkt, dass die Festigkeit und Adhäsion auch von wenig festen Körpern (Kalkmörtel und ganz mageren Cement-Mischungen) noch genau geprüft werden kann.

Selbst bei höchstem Druck und plötzlichen Zerspringen sehr spröder Körper, findet ein Rückschlag in den Manometern nicht statt.

Absolute Zuverlässigkeit der erhaltenen Werthe wird dadurch erreicht, dass der Apparat „austarirt“ wird, d. h. die Kontrolle der direkten Gewichtsbelastung von 1,0 bis 25000 kg fortschreitend, unter Fixirung der Doppel-Control-Manometer und Beobachtung der vollständigen Uebereinstimmung derselben, Anwendung findet, wodurch die sonst bei hydraulischen Druckwerken zu berücksichtigenden Reibungswiderstände und Manometerfehler vollkommen ausgeschlossen werden.

Abb. 12 a—c



Die Hebelpresse von H. Schickert in Dresden, welche ebenfalls vielfach im Gebrauch ist, zeichnet sich neben ihrer sorgfältigen Konstruktion noch dadurch aus, dass mit Hülfe derselben auch sehr geringe Druckwiderstände, also schwache Mörtelproben überhaupt, sowie Cementproben in den ersten Stadien der Erhärtung (schon nach wenigen Stunden) mit aller Schärfe geprüft werden können. Die Einrichtung dieser Presse zeigen die Abbildungen 13—16.

Der durchbrochene Ständer *A*, Abb. 12, enthält zwei Pfannenlager *B* und *C*, deren eines nach oben sich öffnet, das andere nach unten. Beide Lager schliessen sich an den Keil *D* an, welcher durch die Schrauben E^1 und E^2 verschoben werden kann, um die beiden Lager zu nähern oder von einander zu entfernen. In die Pfannen dieser beiden Lager legen sich die beiden rechtsseitigen Achsen der Hebel *F* und *G*, Abb. 13, ein, während die linksseitigen Endachsen dieser beiden Hebel mit den Achsen *H* und *J* des Hebels *K* durch Pfannengehänge verbunden sind. Der Hebel *K* findet durch den Stift *L* Schutz gegen Verschiebung. Das rechtsseitige Ende des Hebels *K* ist durch Doppelgehänge *N* mit dem

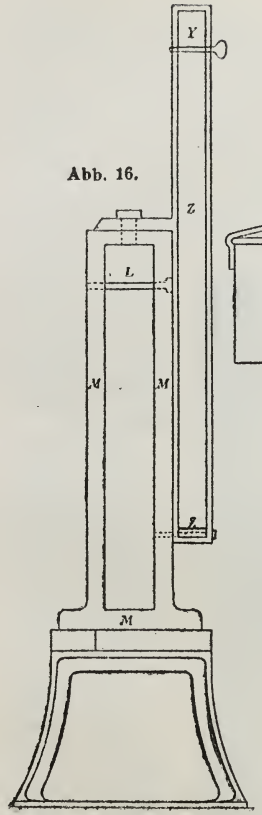
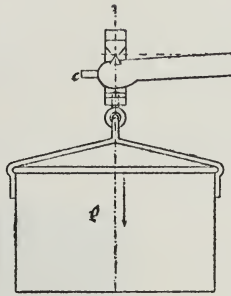


Abb. 16.



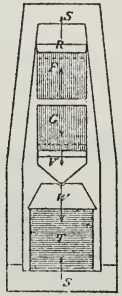
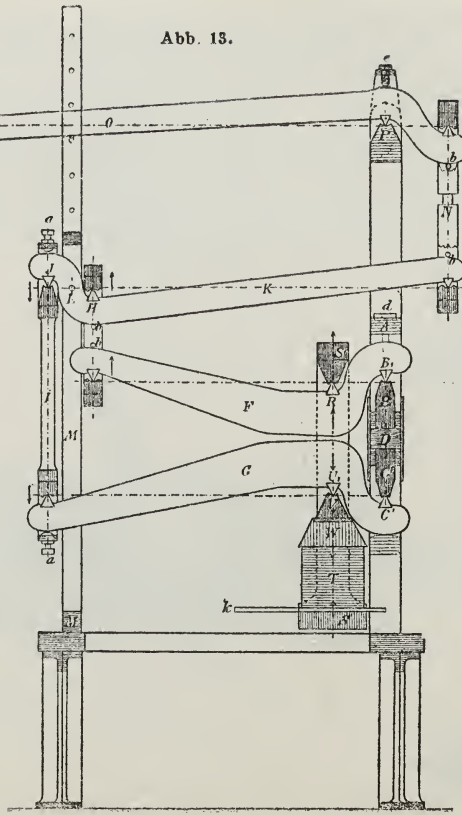


Abb. 15.

Abb. 13.



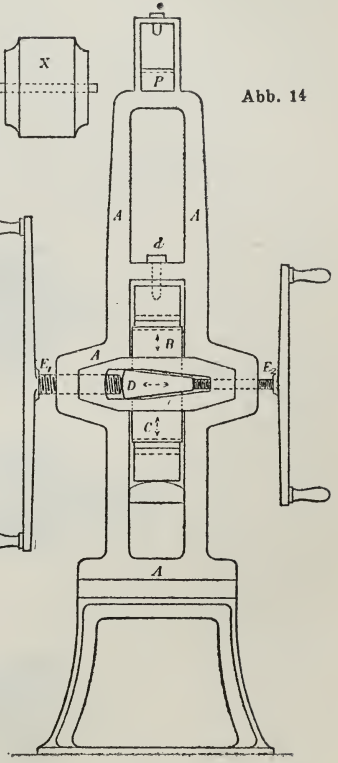


Abb. 14

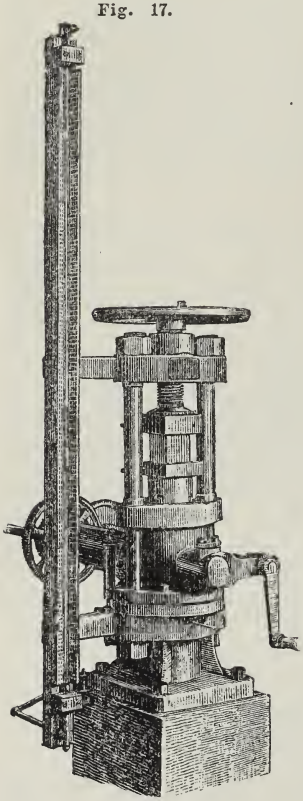
rechten Arm des Hebels *O*, welcher in der Pfanne *P* schwingt, verbunden, während am linken Arm der Eimer *Q* hängt. Zur Beschränkung der Schwingungen des Hebels *O* ist der Rahmen *Z*, Abb. 16, angebracht und der Stift *Y* dient zum Festhalten des Hebels in einer gewissen Höhe, wenn dies wünschenswerth erscheint. Der Hebel *F* trägt auf seiner nach oben gerichteten Achse *R* das Gehänge *S*, in welches unten der zu prüfende Körper *T* eingelegt wird, Abb. 13 und 15. Die Achse *U* des Hebels *G*, welcher frei durch das Gehänge hindurch geführt ist, drückt mittelst des kreuzschneidigen Stückes *V* auf die Platte *W*, welche unmittelbar auf den Probekörper zu liegen kommt. Das Gegengewicht *X* dient zur Herstellung des Gleichgewichts bei dem frei schwingenden, auch durch den Eimer noch nicht belasteten Hebelsystem. Die dreimalige Hebelübersetzung vom Eimer *Q* nach den Achsen *R* und *U* beträgt 1 : 500. Die Maschine ist zur Aufnahme von Probestücken bis zu 100 ^{qcm} Fläche und zur Messung von Druckwiderständen bis zu 50 000 ^{kg} eingerichtet. Die Belastung wird man bei sehr schwachen Proben nur mit einem ganz leichten Eimer (etwa dem Eimer, welcher bei dem Zugfestigkeitsapparat benutzt wird) und mit Schrot bewirken, während man bei stärkeren Proben den Eimer von 5 bezw. 10 ^{kg} Gewicht anwendet und bei sehr grossen Widerständen noch 5—20 ^{kg} von Anfang an in den Eimer einlegt und durch Hinzufügen immer kleinerer Gewichtsstücke den Bruch bewirkt.

Beim Gebrauch der Hebelpresse zieht man zuerst die Schraube *E* genügend zurück und treibt durch die Schraube E^2 den Keil ganz nach vorne, worauf man E^2 wieder zurückzieht (das Spiel dieser Schrauben mit dem Keile, dessen gleitende Flächen beiläufig gut geölt sein müssen, wie auch die Schraubenspindeln, kann man bequemer verfolgen, wenn man die davor geschraubte achteckige Platte abnimmt). Bei zurückgezogener Keilstellung und bei gleichzeitiger Hochstellung des linken Armes des Hebels *O*, welcher durch den Stift *Y*, Abb. 16, oben festzuhalten ist, wird nun das Probestück *T* mit den glatten Seitenflächen nach oben und unten in das Gehänge *S* eingelegt, darauf die Deckplatte *W* mit ihrer Nuthe unter *V*. Zu möglichster Verminderung des Spielraumes der Probe wird noch unter dieselbe von links her der flache Keil *K* soweit thunlich untergeschoben. Statt dieses Keils kann man sich noch bequemer eines Kugelgelenks bedienen, in welchem Fall die Höhe der Deckplatte *W* entsprechend einzurichten ist. Nachdem nun der Eimer *Q* angehängt ist, wird der Keil *D* mittelst der Schraube E^1 so weit eingetrieben, dass der Eimer vom Hebel frei getragen wird, was leicht daran zu erkennen ist, dass sich der Hebelarm *O* nicht mehr auf den Stift *Y* stützt, sondern sich im Rahmen nach oben anlegt. Bei schwächeren Proben wird man den Keil *D* nicht stark eintreiben dürfen, dagegen wird man bei zu erwartendem grossem Widerstande den Eimer, bereits durch 10—40 ^{kg} belastet, in seiner höchsten Stellung, durch starkes Eintreiben des Keils frei tragen lassen müssen. Indem man anfangs grössere, dann immer kleinere Gewichte, dem Eimergewichte (von 5 bezw. 10 ^{kg}) zuzählend, der Belastung zufügt, nimmt man den Stift *Y* entweder ganz hinweg oder man steckt ihn, dem niedergehenden Hebel zuvorkommend, immer tiefer. Bei dem Eintritt des Bruches fällt der Eimer wieder. Für Würfel von 50 ^{qcm} Fläche hat man, da die Last mit 500facher Kraft wirkt, nur nöthig die Last: Eimer + Gewichte, mit 10 zu multipliziren, um das Bruchgewicht für 1 ^{qcm} zu finden.

Der schweiz. Normalapparat zur Prüfung der Druckfestigkeit hydraulischer Bindemittel von Prof. Tetmajer in Zürich, ausgef. von Prof. Amsler-Laffon[1]) genügt folgenden Anforderungen: Maximalleistung 20,0 ^{t}; reibungslose Funktion; gleiche Sicherheit der Ablesung der Kraft in jedem Intervall der Belastung; Grenze der Ablesung 0,25 ^{kg} für 1 ^{qcm} der Druckfläche der normalen Druckkörper; Kontrolirbarkeit des Apparates; einfache und rasche Bedienung desselben; Ablesung des Arbeitsdruckes auf einer Quecksilberskala mit automatischem Maximum-Zeiger.

Da Hebelwerke stets komplizirt, in ihrer Handhabung und Kontrole umständlich sind, hydraulische Pressen mit nicht genau bekannten und wahrscheinlich veränderlichen Reibungswiderständen behaftet sind, dachte Prof. Tetmajer eine Schmirgel-Membran mit unmittelbarer Kraftübertragung zu benutzen, wurde aber durch Hrn. Prof. Amsler-Laffon, auf eine Konstruktion aufmerksam gemacht, welche die Vortheile der hydraulischen Pressen und der Schmirgel-Membran ohne deren Nachtheile zu vereinigen versprach. Professor Amsler schlug vor, das zuerst durch Amagat in Loyn anlässlich seiner Untersuchung der Kompressibilität der Flüssigkeiten benutzte Prinzip anzuwenden: die Dichtung des Presskolbens durch ein dickflüssiges Oel zu bewerkstelligen. Der Presskolben der Amagatschen Konstruktion schwebt in einer Oelsphäre; die Reibung ist aufgehoben und es tritt an deren Stelle die Klebrigkeit der zur Dichtung verwendeten Flüssigkeit.

Fig. 17.



Bei seinen Versuchen benützte Prof. Amagat mit Ricinus gedichtete Differentialkolben-Manometer, welche gestatteten, Pressungen bis auf 3000 Atmosphären[2]) reibungslos zu messen. Dass die genannten Differentialkolben reibungslos arbeiten, konnte Amagat in jeder Phase der Druckäusserung dadurch nachweisen, dass er den Differentialkolben mittels eines kleinen, aus der Maschine vorragenden Hebels mit Leichtigkeit um seine Achse bewegte.

Nach mehrfachen Versuchen ist der in Fig. 17 abgebildete Apparat entstanden, der als Hauptheile zwei senkrecht über einander gestellte Zylinder hat, die durch die Zugstangen der Presse und zwei am untern Ende derselben angebrachte Muttern zusammen gehalten werden. Im obern Zylinder sitzt, mit Spielraum eingeschliffen, der Presskolben. Dieser ist behufs Füllung des Zylinders mit Oel senkrecht durchbohrt, und es ist die Bohrung für gewöhnlich mittelst einer horizontal angeordneten Schraube geschlossen. Das obere Ende des Presskolbens besitzt eine sphäroidale Vertiefung, eine Pfanne, die mit Ricinus

[1]) Schweizer. Bauzeitg. Nr. 7 vom 12. Januar 1889.

[2]) Vergl. „Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences" v. 23. August 1886, ferner „Archives des sciences physiques et naturellles"; Genf, 1886, Sept.-Heft S. 7;

geschmiert, zur Aufnahme der unteren Druckplatte dient. Mit dem kugelförmigen Untertheil sitzt diese Druckplatte in der genannten Pfanne. Die obere, ebenfalls bewegliche Druckplatte sitzt an der mit einem Griffrad armirten Druckschraube, und ist ähnlich der unteren Druckplatte geformt und konstruirt.

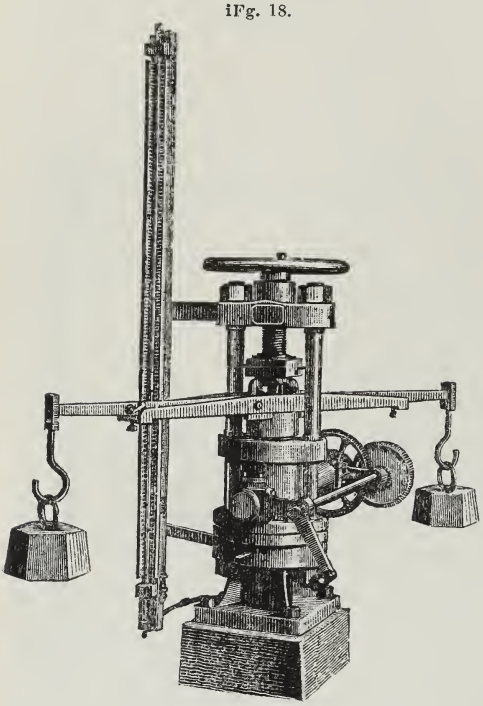
Am oberen Presszylinder befestigt sieht man die Antriebskurbel des Druckapparats. Das rückwärtige Ende der Kurbelspindel trägt zwei Zahnräder, von denen das kleinere beim Hingange, das grössere beim Rückgange der Pressspindel sich in Eingriff befindet. Wird die Kurbel von unten über links nach oben gedreht, so wird eine langsam fortschreitende Bewegung und damit ein Eindringen der genannten Pressspindel in den ölgefüllten Hohlraum des oberen Presszylinders, also Druck erzeugt. Soll die Pressspindel zurückgezogen, d. h. in die Ausgangsstellung gebracht werden, so hat man einfach die Antriebskurbel in entgegengesetzter Richtung zu drehen. Dadurch wird eine kleine Keilkonstruktion eingerückt; es tritt die kleine Uebersetzung in Thätigkeit und die Pressspindel kehrt in rascher Bewegung in ihre Ausgangsstellung zurück.

Der untere Presszylinder enthält den grossen Kolben des Differential-Manometers; der kleine Kolben dringt, behufs Druckaufnahme durch den Boden, in den oberen Presszylinder ein. Nahe am oberen Rande des unteren Zylinders sieht man, Fig. 17, eine kleine, rechteckige Oeffnung, aus welcher ein mit dem Differential-Manometer fest verbundener Hebel hervor ragt. Dieser Hebel diente ursprünglich dazu, um den Differential-Kolben des Apparates von Hand, und zwar während des Versuches, zu bewegen. Bei der grossen Empfindlichkeit des Manometers ergaben sich hieraus zeitweise kleine Anstände, die dadurch gehoben wurden, dass der ausbalanzirte Hebel mittelst einer angemessenen Führung an die Kurbelwelle gehängt, mit dieser automatisch in Bewegung versetzt wird. Der Hohlraum des unteren Presskolbens ist zum kleineren Theile mit Quecksilber, im übrigen mit Ricinus gefüllt, welches nach Bedarf mittelst einer kleinen, seitlich rückwärts am unteren Presszylinder befestigten Handpumpe eingebracht werden kann. Durch ein eisernes Röhrchen steht der untere Presszylinder mit der lothrechten, auf einer Latte unwandelbar befestigten, ziemlich weiten Glasröhre des Manometers in Verbindung. Die Latte selbst ist durch zwei an den Apparat angeschraubte Arme getragen. Auf der Vorderseite dieser Latte schleift, durch eine kleine Mikrometer-Schraube verstellbar, eine zweite, die Theilungen tragende Latte. Der Nullpunkt der Theilung befindet sich unten und kann mittelst der genannten Mikrometer-Schraube gestellt, d. h. auf den jeweiligen Stand des Quecksilbers im Glasrohr des Manometers eingestellt werden. In diesem Glasrohr ist ein ausbalanzirter, einerner Stabschwimmer angebracht. Der Faden, an welchem das Gegengewicht des Schwimmers hängt, läuft über eine, am obern Ende der festen Latte ganz leicht gebremste, kleine Rolle. Der leiseste Zug am Faden der Bremsbacke genügt, um den Stabschwimmer in eine langsame Abwärtsbewegung zu versetzen; sitzt demnach der Schwimmer auf der Quecksilbersäule auf und steigert man den Druck im Apparate, so wird vermöge der gewählten Konstruktion der Stabschwimmer nahezu widerstandslos mitgenommen und bleibt an der höchst erreichten Stelle der Quecksilbersäule stehen wenn der Druck absichtlich oder zufolge Ueberwindung der Kohäsion des Materials eines Versuchskörpers abnimmt und die Quecksilbersäule zu sinken beginnt.

Der ganze Apparat steht mit Steinschrauben auf einem etwa 30 bis 40 cm hohen Mauersockel befestigt.

Der Arbeitsvorgang mit dieser Maschine ist der denkbar einfachste: Der Beobachter hat den Probekörper stets vor Augen, sieht die Veränderungen der Druckverhältnisse im Apparat, braucht keine Gewichte zu heben noch solche am Schlusse des Versuchs zusammen zu zählen. Er ist der Mühe jeglicher Zwischen- oder Endrechnungen enthoben, da die Theilungen einerseits Tons absolut, anderseits kg pro qcm der Druckfläche des Probekörpers direkt angeben. Die zu einer Probe erforderliche Zeit schwankt mit der Festigkeit des Materials zwischen 1 und 1,50 Min.

Fig. 18.



Die bei Probungen erforderlichen Vorrichtungen sind die folgenden:

Einlagern des Probekörpers in den Apparat.

Ein bis zwei mal Hin- und Herbewegen des Differentialkolbens von Hand, oder besser mittels der Antriebkurbel,

Einstellen des Nullpunktes der Theilungen auf das Niveau der Quecksilbersäule, bezw. auf den untern Rand des Schwimmers.

Anziehen der obern Druckplatte mittelst des Griffrades der Pressschraube.

Druckertheilung durch entsprechende Bewegung der Antriebskurbel.

Ablesen der gesuchten Druckfestigkeit des Materials.

Zurückführen der Pressspindel durch die entsprechende Kurbelbewegung.

Da sowohl der Presskolben, als auch die Differentialkolben des Manometers in einer Oelsphäre stecken, tritt mit der Zeit ein kleiner Oelverlust in den Presszylindern ein. Das ausgestossene Oel fliesst in kleine, die unterschiedlichen Kolben umgebende Rinnen und wird in einem Blechgefäss gesammelt, um gelegentlich wieder benützt zu werden. Bei dem stark beanspruchten Apparat der Züricher Prüfungs-Anstalt findet etwa alle 14 Tage das an sich geringfügige Nachfüllen statt; diesem Zwecke dient für den untern Presszylinder die bereits erwähnte Handpumpe. Um den obern Presszylinder nachzufüllen, zieht man mittelst zweier, dem Apparate beigegebener Bügel und des Griffrades den Presskolben heraus; dann entfernt man die untere Druckplatte, giesst in deren Lagerschale das nöthige Oel, öffnet die Bohrung des Presskolbens und saugt durch vorsichtiges Heben des Presskolbens (mittels Griffrad) das Oel in den Presszylinder; es erfordert dies etwa 15 Minuten Zeit.

Zu dem beschriebenen Druckapparat gehört der in Fig. 18 dargestellte Kontrolapparat. Der Hauptsache nach besteht derselbe aus 2 entgegen-

gesetzt angeordneten Hebeln, welche symmetrisch zur Achse gegen die Druckplatte der Druckschraube gestützt sind. Die Angriffsschneiden nehmen den Druck aus dem Presskolben und übertragen ihn im Verhältnisse 1 : 15 auf die Schneiden, die das Kontrolgewicht tragen. Die Kontrolversuche fordern besondere Sorgfalt und Vorsicht; sie werden folgendermaassen ausgeführt:

Nachdem der Kontrolapparat auf den Presskolben der zu prüfenden Maschine aufgesteckt worden, gebe man mittelst des Griffrades einen leichten Druck auf den Kontrolapparat, bis sich die Hebel desselben von ihren Lagern abheben. Nachdem die Differentialkolben mittelst deren Hebel behutsam einige male hin und her bewegt worden sind, stellt man den Nullpunkt der Theilung auf das Niveau der Quecksilbersäule ein und ermässigt sodann mittelst der Antriebskurbel den vorhandenen Arbeitsdruck des Apparats. Sobald die Hebel des Kontrolapparats auf ihre Lager zurückgekehrt sind darf die Belastung der angehängten Wagschalen erfolgen. Zu diesem Ende hat man, möglichst gleichzeitig, gleich schwere Gewichtstücke auf die Wagschalen zu legen und den Druck mittelst der Antriebskurbel zu geben. Dabei wird die Quecksilber-Skala steigen und die Hebel des Kontrolapparats werden wieder aufgehoben. Die Kurbelbewegung ist einzustellen sobald der Moment, wo die Quecksilbersäule zum Stillstand gekommen, erreicht ist. Nun wird der Stand der Quecksilbersäule abgelesen, der Apparat durch Rückwärtsbewegung der Antriebskurbel bis zur Rückkehr der Hebel auf ihre Lage entlastet und das Ergebniss der Ablesung und der unmittelbaren Belastung verglichen. Diese Operation kann mit gesteigerten Belastungen (zu etwa 50^{kg} pro Wagschale) innerhalb der Tragfähigkeit der Kontrolhebel beliebig oft wiederholt werden. —

Ueberblickt man alles, was über die Normenprüfung im Vorstehenden mitgetheilt worden ist, so wird man finden, dass die Prüfung des Portland-Cements nach den Normen keine ganz einfache Sache ist. In der That gehört ein nicht unerhebliches Mass von Sachkenntniss und Sorgfalt in der Befolgung aller Vorsichtsmassregeln dazu, um einwandfreie Cementprobungen vornehmen zu können und hierin ist es auch begründet, dass der Ungeübte nicht selten zu niedrige Festigkeitszahlen erhält. In richtiger Würdigung dieser Verhältnisse hat daher zur Entscheidung von Streitigkeiten über die Beschaffenheit von Portland-Cement bei Lieferungen das königl. preussische Ministerium der öffentlichen Arbeiten unterm 16. Aug. 1880 an alle Baubehörden seines Ressorts verfügt.

Auf Antrag des Vereins Deutscher Cementfabrikanten wird in streitigen Fällen zwischen den Baubehörden und den Fabrikanten über die Qualität von Portland-Cement die königl. Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin (Charlottenburg) als technisch entscheidende Instanz anerkannt.

Gleichzeitig hat das genannte Ministerium verfügt, dass in allen Verträgen über Lieferungen von Cement eine Vereinbarung dahin aufzunehmen ist, dass bei etwaigen zwischen Lieferanten und der Bauverwaltung eintretenden Streitigkeiten über die Qualität des gelieferten Cements das Urtheil der königl. Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin (Charlottenburg) unter unverzüglicher Uebersendung einer geeigneten Probe des von der Bauverwaltung bemängelten Materials angerufen und dasselbe sodann als endgiltig in technischer Beziehung von beiden Kontrahenten anerkannt werden soll.

Es ist endlich auf einen Punkt aufmerksam, der nicht immer genügend beachtet wird.

Selbst wenn ein Portland-Cement die in den Normen vorgeschriebene Festigkeit nicht erreicht, — was beispielsweise allein schon die Folge zu grober Mahlung sein kann — so besitzt er doch immer die den Portland-Cement charakterisirenden Eigenschaften, welche oben geschildert worden sind und welche die Vorzüge des Portland-Cements vor anderen hydraulischen Bindemitteln bedingen. Er ist nur geringwerthiger insofern, als er weniger Sandzusatz verträgt und weniger widerstandsfähig ist als ein besserer Portland-Cement. Ueberträgt man aber die Normen für Portland-Cement auf andere Bindemittel, wie dies schon in zahlreichen Fällen geschehen ist und vergleicht man dann die Prüfungsergebnisse mit einander, so giebt dies, da die Normen eben nur zum Vergleich von Portland-Cementen unter einander dienen sollen, zu Täuschungen Veranlassung. Wie z. B. die treibenden Eigenschaften der Magnesia-Cemente durch die Volumenbeständigkeitsprobe der Normen, welche für Portland-Cement völlige Sicherheit gewährt, nicht oder wenigstens erst sehr spät erkannt werden, so kann auch die Festigkeitsprüfung nach den Normen zu Trugschlüssen führen. So z. B. kann ein Bindemittel bei dieser Prüfung gleiche Ergebnisse wie Portland-Cement liefern, ohne diesem in dem sonstigen Verhalten ebenbürtig zu sein. Verschiedenes Verhalten eines Bindemittels in chemisch-physikalischer Beziehung bedingt stets auch ein abweichendes Verhalten bei der Verwendung als Mörtel und thatsächlich zeigen die hydraulischen Bindemittel in Bezug auf Volumenbeständigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Witterungseinflüsse, Festigkeit mit anderen Sandzusätzen und bei anderer Erhärtungsweise, wie die in den Normen vorgeschriebene, ferner in Bezug auf mechanische Abnutzung, Wasserundurchlässigkeit, Adhäsion usw., sehr ungleiches Verhalten.

Es ist daher nothwendig, beim Vergleich anderer hydraulischer Bindemittel mit Portland-Cement ihre sämmtlichen Eigenschaften in Betracht zu ziehen.

V. Anwendungen des Portland-Cements.

A. Mörtel.

a) Auswahl des Cements.

In Bezug auf die Auswahl des Cements ist zu bemerken, dass man bei Arbeiten unter Wasserandrang sich eines rasch bindenden Cements bedient. Ebenso wird man zu Verputzarbeiten, Ziehen von Gesimsen und dergl., sowie bei kalter Witterung nicht zu langsam bindenden Cement anwenden, während man in allen übrigen Fällen am vortheilhaftesten langsam bindenden Cement benutzt, da dieser die beste Gewähr für leichte und sichere Verarbeitung, sowie für die höchste Festigkeit in der kürzesten Zeit bietet.

Zu der Verarbeitung von reinem Portland-Cement (ohne Sandzusatz) zu Mörtel findet sich nur ganz ausnahmsweise Veranlassung, so z. B. bei der Dichtung von Quellen oder Beseitigung von Wasserandrang überhaupt. Nur in solchen Fällen, also wenn der Portland-Cement dauernd im Wasser bezw. im feuchten Erdreich oder in geschlossenen Räumen bleibt, darf reiner Portland-Cement angewendet werden, in allen anderen Fällen muss dem Cements stets ein mehr oder minder starker Zusatz von Sand gegeben werden, damit Schwindungsrisse vermieden und wetterbeständige Mörtel erzielt werden.

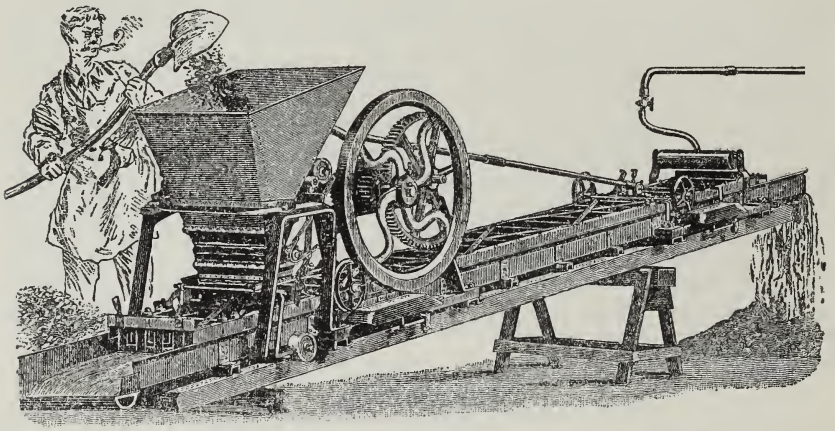
b) Der Sand.

Von der grössten Wichtigkeit für alle Cementarbeiten ist die Beschaffenheit des, für den Mörtel zu benutzenden Sandes. Die verschiedenen in der Natur vorkommenden Sandsorten, Flusssande sowohl wie Grubensande, sind in Bezug auf ihre Brauchbarkeit für Cementarbeiten nicht von gleicher Güte. Die reinen Quarzsande eignen sich durchweg für Cementmörtel. Es ist aber durchaus nicht Bedingung, ausschliesslich Quarzsand zu verwenden und es sind z. B. Sande, welche einen beträchtlichen Gehalt an Kalkstein-Sand enthalten, ebenfalls sehr wohl zu gebrauchen, vorausgesetzt, dass die Kalkkörner dicht und hart sind. Sande dagegen, welche poröse Theile (z. B. Tuff) oder Theile mit blätteriger Struktur enthalten, z. B. Glimmer, Feldspath u. dergl., geben weniger guten Mörtel. Es kommen aber auch Sande vor, welche trotz sehr guten Aussehens für Cementarbeiten nicht oder doch nur bedingungsweise geeignet sind. Dahin gehören Sande, welche thonige oder lehmige Beimengungen mit sich führen, die fest an der Oberfläche der Sandkörner haften. Dieselben geben stets schlechte Resultate und bisweilen genügt schon ein geringer Procentsatz der Beimischung, um die zu erzielende Festigkeit gänzlich in Frage zu stellen. Solche Sandsorten müssen deshalb, wenn nicht bessere zur Verfügung stehen, vor der Verwendung unbedingt gewaschen werden, besser aber verwirft man sie gänzlich.

Ist dagegen der Lehm oder Thon dem Sand nur lose beigemischt, so ist derselbe für die Festigkeit in der Regel nicht nachtheilig, ja er kann sogar, voraus gesetzt, dass sein Gehalt nicht zu hoch steigt, zur Vermehrung der Dichte und Festigkeit beitragen.

Wo man genöthigt ist den Sand zu waschen, bedient man sich, namentlich bei grösserm Bedarf, am besten einer Sand-Waschmaschine. Eine empfehlenswerthe Vorrichtung dieser Art ist die Gresly-Ruge'sche Sand-Waschmaschine (beschrieben in der Schweizerischen Bauzeitung 1886 Nr. 20). Dieselbe besteht der Hauptsache nach aus einer an beiden Enden offenen Blechrinne, von etwa 6 cm Länge, 52 cm Breite und etwa 12 cm Tiefe. Sie ist auf 2 Langschwellen gelagert und es kann durch geeignet geformte Unterlagen derselben ein beliebiges Gefälle ertheilt werden. Auf der geneigten Bodenfläche der Rinne wird der Sand maschinell aufwärts gefördert, während das Wasser am obern Ende der Rinne eintritt, im Sinne des Rinnengefälles abfliesst und dabei die dem Sand anhaftenden thonigen Bestandtheile usw. nahezu vollständig entfernt (Gegenstrom-

Abb. 19.



Prinzip). Zu der beigefügten Abb. 19 ist zu erwähnen, dass zur Bedienung der Maschine bei maschinellem Antrieb 1 Mann und 1 Gehilfe, bei Handbetrieb 2 Mann und 1 jugendlicher Gehilfe erforderlich sind. Die tägliche Leistung der Maschine ist, bei einem Wasserverbrauch von 670 — 680 Litern für 1 cbm, 14,5 bis 15 cbm Sand. Die Waschkosten sollen bei Handbetrieb 0,62 M. für 1 cbm betragen, bei Maschinenbetrieb entsprechend weniger.

Für die Bereitung von Cementmörtel ist ferner solcher Sand zu verwerfen, welcher organische, namentlich humus- oder torfartige Stoffe in irgend erheblicher Menge enthält, da diese äusserst nachtheilig auf die Festigkeit einwirken. Lieven (Dingler's Journal 263, S. 342) schreibt ihre Wirkung dem Umstande zu, dass die Humussäuren des Torfs mit dem Kalk des Cements eine weiche Kalkhumus-Seife bilden und giebt an, dass 4—5 % Humus oder Torf genügen, um die Erhärtung des Cements zu verhindern.

Von beträchtlichem Einfluss auf die Festigkeit ist auch die Korngrösse des Sandes. Grober Sand giebt in der Regel bessere Festigkeit als feinkörniger Sand. Sehr feiner Sand (Streusand) ist zu vermeiden.

Dieser bedarf zur Erzeugung eines glatten Mörtels viel Wasser; der Mörtel erhärtet langsam, bleibt nach dem Erhärten, nachdem ein grosser Theil des Wassers verdunstet ist, porös und erreicht in Folge dessen nur geringe Festigkeit. Am vortheilhaftesten ist gemischt-körniger Sand, weil dieser die wenigsten Hohlräume besitzt. Er liefert den dichtesten Mörtel, und man kann von demselben einer bestimmten Cementmenge zur Erzielung einer gewissen Festigkeit mehr zusetzen als von einem Sand mit sehr gleichmässigem Korn, der stets mehr Hohlräume enthält. Unter Umständen wird es sich demnach auch empfehlen, groben und feinen Sand in richtigem Verhältniss zu mischen um einen Sand mit den gewünschten Korngrössen herzustellen.

Auch die Oberflächenbeschaffenheit der Sandkörner ist von Einfluss auf die Festigkeit, insofern scharfer Sand mit rauher Oberfläche der Körner bessere Festigkeit ergiebt als Sand mit vorwaltend runden Körnern bei glatter Oberfläche.

In Erwägung aller vorerwähnten Punkte ergiebt sich, dass es unter Umständen schwierig und bisweilen sogar unmöglich sein kann, nach dem Augenschein zu beurtheilen, ob ein Sand für Cementarbeiten geeignet ist. Hierüber giebt nur eine Festigkeitsprüfung Gewissheit, indem man bestimmt, welche Festigkeit der vorliegende Sand gegenüber Normalsand liefert, selbstverständlich mit einem und demselben Cement. Gute Bausande ergeben in der Regel höhere, mindestens aber die gleiche Festigkeit wie Normalsand. Da, wie erwähnt, der Augenschein in Bezug auf den Sand leicht täuschen kann, da ferner durch richtige Auswahl des Sandes nicht allein mangelhafter Arbeit vorgebeugt werden kann, sondern auch nicht selten beträchtliche Ersparnisse zu machen sind, insofern man von besserm Sande dem Cement einen grösseren Zusatz geben kann, so sollte, namentlich bei grösseren Bauten, nicht unterlassen werden, vergleichende Festigkeitsbestimmungen mit verschiedenen, in weiterm Umkreise der Baustelle vorkommenden Sandsorten auszuführen. Die verschiedenen öffentlichen Prüfungstationen bieten hierzu genügende Gelegenheit.

Als Beispiel, wie verschieden der Bausand selbst bei ziemlich eng begrenzten Fundstätten sein kann, lassen wir die bei einem grossen Bau (Wasserwerk) mit 6 verschiedenen Bausanden gefundenen Festigkeitsergebnisse folgen. Die Zahlen beziehen sich auf die Mischung 1 Cement : 3 Sand bei 28 tägiger Erhärtung und geben ^{kg} für 1 ^{qcm} an:

Feiner Grubensand	5,1,
Flusssand I, fein .	11,6,
Derselbe, grob . .	20,2,
Flusssand II, fein	11,7,
Flusssand III, fein	14,5,
Derselbe, grob . .	21,1,
Normalsand	20,9.

c) Mischungs-Verhältnisse des Mörtels.

Ueber die Mischungs-Verhältnisse von Cement und Sand lassen sich specielle Regeln kaum aufstellen, da sich dieselben nach der jeweils beanspruchten Festigkeit und dem besondern Zweck der Arbeit zu richten haben. Als Anhalt mag indess Folgendes dienen:

1 bis 2 Theile Sand auf 1 Theil Cement werden nur da angewandt, wo es auf sehr hohe Festigkeit namentlich nach kurzer Zeit ankommt und wo man grosse Widerstandsfähigkeit gegen

Abnutzung (Ueberzug auf Fussböden u. dergl.) oder Wasserdichtigkeit verlangt.

3 bis 4 Theile Sand auf 1 Theil Cement nimmt man für Mauerwerk, Fundamente, Kunststeine, Betonirungen und ähnliche Arbeiten.

Wo die Festigkeit von 5 und mehr Theilen Sand auf 1 Theil Cement genügt, wendet man am besten Cement-Kalkmörtel an, wovon weiter unten die Rede ist.

d) Zubereitung und Verarbeitung des Mörtels.

Ist das Mischungs-Verhältniss von Cement und Sand festgestellt, so ist zuvörderst darauf zu achten, dass das gewünschte Verhältniss bei der Mörtelbereitung auch wirklich erhalten wird. 1 hl grubenfeuchter Bausand wiegt durchschnittlich 140 kg; 1 hl Cement wiegt zwar im Durchschnitt etwa ebenso viel; es kommen aber bei den einzelnen Cementen in Folge der verschieden feinen Mahlung doch nicht unerhebliche Abweichungen vor. Berücksichtigt man ferner, dass man beim Abmessen je nach der Grösse des Messgefässes und der Art des Einfüllens für denselben Cement verschiedene Gewichtsmengen für die Maasseinheit erhält, so leuchtet ein, dass das Abmessen unter Umständen zu erheblichen Ungenauigkeiten führt. Berechnet man aber ein für allemal (unter Zugrundelegung des Gewichts von 140 kg für 1 hl Cement)

1	Fass	von	170	kg	netto	mit	122	Litern
1	Sack	„	70	„	„	„	50	„
1	„	„	60	„	„	„	43	„
1	„	„	50	„	„	„	36	„

und bringt man diese Gewichtsmengen statt der neben verzeichneten Raumtheile (Fass, Sack) bei der Mörtelbereitung in Anwendung, so erreicht man auf die einfachste Weise, dass Maass und Gewicht sich decken und dass dann auch die Mörtelmischung diejenige Festigkeit ergiebt, welche man nach der Prüfung, die ja stets nach Gewichtstheilen erfolgt, zu erwarten hat.

Zu berücksichtigen ist ferner, dass die Mischungs-Menge sich nach der Abbindezeit des Cements zu richten hat. Da die gesammte Mörtelmenge bereits verarbeitet sein muss, ehe das Abbinden beginnt, so dürfen die auf ein mal anzumachenden Mörtelmengen bei rasch bindendem Cement nur gering genommen werden.

Bei der Mörtelbereitung selbst verfährt man in der Weise, dass der genau abgemessene Sand etwas ausgebreitet, die erforderliche Menge Cement darüber geschüttet und das Ganze so lange durchgearbeitet wird, bis die Masse ein gleichfarbiges Ansehen hat. Dann erst setzt man unter fortwährendem Durcharbeiten das erforderliche Wasser langsam zu.

Bezüglich des Wassers ist zu erwähnen, dass dasselbe rein und schlammfrei sein muss und auch keine organischen Stoffe oder Salze aufgelöst enthalten darf.

Die Stärke des Wasserzusatzes ist je nach der Bindezeit des Cements, dem beabsichtigten Zweck der Arbeit und der Witterung verschieden zu bemessen. Rasch bindender Cement erfordert durchweg etwas mehr Wasser als langsam bindender. Ebenso ist bei trockener, heisser Witterung der Wasserzusatz etwas reichlicher zu geben, während man beim Arbeiten im Feuchten oder bei kühler und feuchter Witterung den Mörtel etwas steifer anwendet. Mörtel, welcher eingestampft (trocken betonirt) werden soll, erhält nur so viel Wasser, dass er erdfeucht aussieht, in der

Hand sich gerade noch ballen lässt und erst beim Stampfen oder Schlagen etwas Wasser ausscheidet. Dem Mörtel für Mauerarbeiten giebt man nicht mehr Wasser, als dass er eben glatt von der Kelle geht. Ueberhaupt kann als Regel gelten, dass man den Cementmörtel mit so wenig Wasser als möglich anmachen und die erforderliche Geschmeidigkeit durch fleissiges Durcharbeiten erreichen soll, weil dann der Mörtel eine grössere Dichte und Festigkeit erreicht. Bei zu reichlichem Wasserzusatz wird der Mörtel weit weniger dicht und fest und überdies tritt die Erhärtung namentlich bei feuchter und kalter Witterung, erst später ein. Doch darf man den Mörtel für Ziegelmauerwerk immerhin etwas flüssiger halten als für Bruchstein-Mauerwerk, da bei ersterem, selbst wenn die Steine vorschriftsmässig nass gehalten sind, doch noch stets ein Theil des Wassers von den Steinen aufgesaugt wird. Ueber die Abhängigkeit der Festigkeit von dem Wasserzusatz sind oben (S. 8) einige Zahlen mitgetheilt worden.

Für grössere Bauten bedient man sich bisweilen auch mit Vortheil der Mörtelmaschinen, in welchen nach Art der Thonschneider die Mischung der Bestandtheile erfolgt. Brauchbare Maschinen dieser Art liefern z. B. die Firmen C. Schlickeysen in Berlin, Möller & Blum ebendaselbst, Joh. Schumacher in Cöln u. a.

Beim Verarbeiten des Mörtels ist darauf zu achten, dass alle Steine bezw. Kies beim Betoniren), welche durch Cementmörtel verbunden werden sollen, reine Oberflächen haben; nöthigen Falls müssen dieselben gewaschen werden. Auch dürfen die Steine nicht weich oder mürbe sein. Ziegelsteine müssen gut gebrannt und wetterbeständig sein und dürfen keine erheblichen Auswitterungen geben.

Alle porösen, absaugenden Steine, wie Ziegelsteine, Sandsteine, müssen gehörig mit Wasser getränkt werden. Am besten erreicht man dies, indem man die Steine einige Zeit in Wasser bringt.

Ereignet es sich, dass während des Verarbeitens der Mörtel abbindet, also starr wird, so gebe man das Material einfach verloren und versuche nicht, durch erneute Zufuhr von Wasser den Mörtel wieder verwendbar zu machen, da derartig behandelter Mörtel niemals die volle Härte des sachgemäss verarbeiteten erreicht.

Ebenso ist darauf zu achten, dass vor jeder neuen Mischung die Mörtelpfanne gehörig gesäubert wird und abgebundene Mörtelreste, welche die Festigkeit beeinträchtigen, entfernt werden.

e) Mörtelausbeute bei Mauermörtel.

Da der fertige Mörtel eine völlig „satte“ Masse darstellt, in welcher alle Hohlräume verschwunden, bezw. durch Wasser ausgefüllt sind, so nehmen alle Bestandtheile im Mörtel den möglich kleinsten Raum ein. Dieses ihr Volumen ist abhängig von den angewandten Gewichtsmengen derselben und ausserdem von der Dichte der Materialien (ihrem spezifischen Gewicht).

Wenn es sich nun darum handelt für die Mörtelausbeute nach Maasstheilen allgemein giltige Zahlen aufzustellen, so kann man nur dann zu richtigen Ergebnissen gelangen, wenn man für die Maasseinheit ein bestimmtes Gewicht zu Grunde legt. Denn beim Abmessen der Mörtelstoffe erhält man je nach der Feinheit des Materials, der Grösse des Messgefässes, der Art des Einfüllens ziemlich abweichende Gewichtsmengen. Bei dem Sand ist auch der Feuchtigkeitsgrad desselben von Einfluss. Trockener Sand lagert sich beim Abmessen wesentlich dichter als feuchter Sand

und liefert daher ein höheres Einheits-Gewicht. Wir legen deshalb bei den folgenden Mörtel-Berechnungen

für 1 hl Cement . . . . . das Gewicht von 140 kg
„ 1 „ gemischtkörnigen, feuchten Sand . „ „ „ 140 „

zu Grunde. Bei Anwendung von Quarzsand und den angegebenen Wassermengen ergeben sich dann für die verschiedenen Mischungen die in der folgenden Tabelle verzeichneten Mörtelausbeuten.

Mischung in hl				1 cbm Mörtel erfordert		
Cement	Sand	Wasser	Ausbeute	Cement kg	Sand Liter	Wasser Liter
1	1	0,53	1,50	933	667	353
1	2	0,75	2,25	622	888	333
1	3	0,98	3,00	467	1000	327
1	4	1,25	3,80	368	1053	329

f) Portland-Cement als Wassermörtel.

Da der Portland-Cement-Mörtel in wenig Tagen eine Festigkeit erlangt, welche andere hydraulische Bindemittel erst in Wochen oder gar Monaten erreichen, so gebührt ihm allein schon aus diesem Grunde unter allen Wassermörteln die erste Stelle. In der That wird man auch bei allen wichtigen Bauten, wo es auf rasche, starke und sichere Erhärtung des Mörtels ankommt, seine Zuflucht stets zum Portland-Cement nehmen, da dieser am raschesten dem Einfluss des Wassers widersteht und man auf Fundamenten von Portland-Cement schon in wenigen Tagen mauern kann. Solche Arbeiten, zu welchen vorzugsweise Portland-Cement angewendet wird, sind z. B. Fundirungen von Brücken-, Kanal-, Schleusen- und Tunnelbauten, Wehranlagen, Dichtung von Quellen oder Abhaltung von Grundwasser bei Gründungsarbeiten aller Art, Trockenlegung von Kellern, Betonirungen unter Wasser und vor allem auch zahlreiche und grossartige See- und Hafenbauten. Zu den Bauten im Meerwasser ist der Portland-Cement ganz unersetzlich, da kein anderes Material in so kurzer Zeit einen Mörtel von solcher Dichte und Widerstandsfähigkeit zu liefern vermag als gerade der Portland-Cement. Hierbei mag nicht unerwähnt bleiben, dass man zwar bei einzelnen Seebauten auch bei Anwendung von Portland-Cement Misserfolge gehabt hat (Hafendämme von Aberdeen in Schottland, Nordsee-Kanal in Holland); es lässt sich aber nachweisen, dass in solchen und ähnlichen Fällen unzweckmässige d. h. zu poröse Mischungen angewendet oder andere Fehler begangen worden sind, so dass die entstandenen Schäden nicht dem Portland-Cement an sich, sondern der Ausführung der betreffenden Arbeiten zur Last zu legen sind. Es muss hervor gehoben werden, dass es bei Seebauten vor allem darauf ankommt, Bauwerke mit möglichst dichter, geschlossener Oberfläche herzustellen, da nur solche der starken mechanischen Reibung der Wellen sowie der chemischen Wirkung des Seewassers auf die Dauer Widerstand zu leisten vermögen. Ueberall, wo man den Grundsatz der höchsten erreichbaren Dichte des Mörtels zur praktischen Durchführung gebracht hat, hat man auch bei Seebauten mit Portland-Cement die besten Erfolge erzielt.

g) Portland-Cement als Luftmörtel.

Es ist bereits oben (S. 9) erörtert worden, warum der Mörtel aus reinem Portland-Cement ohne Sandzusatz den Witterungseinflüssen auf eine längere Dauer nicht zu widerstehen vermag. Hier mag nochmals betont werden, dass es unbedingt zu vermeiden ist, Ornamente oder Werk-

stücke u. dergl.. welche direkt dem Wetter preisgegeben werden, aus reinem Cement herzustellen oder Bautheile mit reinem Cement zu vergiessen. Ebenso unstatthaft ist es auch, Ziegelbauten mit reinem Cement auszufugen. Zu allen solchen und ähnlichen Arbeiten, welche dauernd den Witterungsunbilden ausgesetzt sind, muss immer ein mehr oder weniger hoher Sandzusatz — je nach dem Zweck des Mörtels — dem Cement gegeben werden. Auch beim Vergiessen oder Ausfugen setze man dem Cement immer noch so viel Sand zu, als die Arbeit irgend erlaubt. Bei richtiger, sachgemässer Verarbeitung übertrifft der Portland-Cement an der Luft bei der Verwendung zu Hochbauten jedes andere Bindemittel, da kein anderer Mörtel in gleich kurzer Zeit so hohe Festigkeit erreicht und, wie oben erörtert, so beständig ist wie Mörtel aus Portland-Cement. Man wendet daher bei Bauten, welche bald auf Festigkeit in Anspruch genommen werden sollen, immer Portland-Cement an.

Nachdem die Kenntniss der Eigenschaften des Portland-Cements und damit auch die Kenntniss seiner richtigen Verarbeitung eine allgemeinere und der Preis des Cements ein wesentlich geringerer geworden ist, hat die Verwendung des Cements zu Hochbauten einen früher kaum geahnten Aufschwung genommen und wir sehen jetzt Bauten aus Cement erstehen, bei denen man früher an eine Verwendung von Cement gar nicht dachte und welche sich vorzüglich bewähren. Es sind dies namentlich diejenigen Anwendungen des Portland-Cements, bei welchen derselbe als Beton in Form von Werkstücken, Platten, grossen Behältern, Gewölben, Fussböden, Zwischendecken usw. zur Verwerthung gelangt. Bei der Wichtigkeit dieses Verwendungs-Gebietes wird demselben weiter unten ein besonderer Abschnitt B gewidmet sein. Aber auch noch eine andere Art der Verwendung hat namentlich in den letzten Jahren zu einer immer allgemeineren Anwendung des Portland-Cements geführt, nämlich die Verarbeitung zu:

h) Cement-Kalk-Mörtel.

Es giebt in der Mörteltechnik eine grosse Zahl von Fällen, in welchen zwar eine rasche Erhärtung des Mörtels erwünscht, gleichwohl aber die hohe Festigkeit eines Mörtels aus 1—4 Theilen Sand auf 1 Theil Cement nicht erforderlich ist. Auch stellt sich der Preis des stärkeren Mörtels in Rücksicht auf die herzustellende Arbeit nicht selten zu hoch. Die Festigkeit eines Mörtels mit 5 oder mehr Theilen Sand auf 1 Theil Cement würde hinsichtlich der Festigkeit zwar völlig genügen, aber der Mörtel ist dann zu mager, er haftet zu wenig am Stein und gestattet keine sichere Verarbeitung. In allen diesen Fällen giebt ein Zusatz von Fettkalk oder gut gelöschtem hydraulischem Kalk ein willkommenes Mittel ab, um den erwähnten Mängeln abzuhelfen und billige, für die mannigfachsten Zwecke geeignete Mörtel herzustellen. Der Zusatz von Kalk gestattet somit erst, guten Portland-Cement voll auszunutzen und mit demselben gegenüber anderen Bindemitteln auch in Rücksicht auf den Preis in Wettbewerb zu tretcn, so dass man den Portland-Cement auch zu untergeordneten Zwecken mit Vortheil verwenden kann.

Von Wichtigkeit ist es für die Bereitung der Cement-Kalk-Mörtel, stets den passenden Kalkzusatz anzuwenden. Es werden nämlich, wie dies zuerst durch die planmässigen Versuche von R. Dyckerhoff nachgewiesen worden ist (Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1879 S. 44), die mageren Cementmörtel, bei geringen Kalkzusätzen anfangend, hinsichtlich ihrer Festigkeit, Adhäsion usw. immer mehr ver-

bessert bis zu einer gewissen Höhe des Kalkzusatzes, welche mit der grössten Dichte des Mörtels zusammen fällt. Bei weiterer Steigerung des Kalkzusatzes nimmt die Dichte und damit die Festigkeit der Mischung wieder ab. Es ist also wesentlich, den Kalkzusatz nicht zu hoch zu greifen, ein Fehler, der früher öfter begangen wurde, weshalb man zu dem Schluss kam, dass Cementmörtel durch Kalkzusatz verschlechtert werde. Durch Versuche von Dyckerhoff, Wolff u. A. ist aber unzweifelhaft nachgewiesen worden, dass durch passend gewählten Zusatz von Kalk die Druckfestigkeit der mageren Cementmörtel um 40—100 %, die Adhäsion in noch stärkerem Grade erhöht wird. Als zweckmässige Mischungen für Cement-Kalk-Mörtel haben sich erfahrungsgemäss die folgenden bewährt:

1 Theil Cement, 5 Theile Sand, $^1/_2$ Theil Kalkteig od. hydraul. Kalk[1])
1 „ „ 6—7 „ „ 1 „ „ „ „
1 „ „ 8 „ „ $1^1/_2$ „ „ „ „
1 „ „ 10 „ „ 2 „ „ „ „

Die Zubereitung der Cement-Kalk-Mörtel aus Kalkteig geschieht am besten auf folgende Weise. Man rührt den abgemessenen Kalkteig in der Mörtelpfanne mit dem erforderlichen Wasser zu Kalkmilch an. Auf einem neben der Mörtelpfanne befindlichen Bretterbelag bereitet man den genau abgemessenen Sand aus, schüttet die nöthige Cementmenge darüber und mischt beides gut durch einander. Man schaufelt nun das Gemisch in die Kalkmilch und arbeitet das Ganze so lange durch, bis ein gleichmässiger Mörtel erhalten wird.

Verwendet man statt Kalkteig zu Pulver gelöschten hydraulischen Kalk, so werden zuerst Cement, Kalk und Sand trocken gemischt, bis ein gleichmässiges Gemenge entstanden ist und wird dann das erforderliche Wasser zugesetzt. Es ist zu beachten, dass der hydraulische Kalk gut gelöscht und gesiebt oder gemahlen sein muss, damit nicht etwa ungelöschte Körner, welche im Mörtel verbleiben, durch späteres Löschen aufquellen und den im Erhärten begriffenen Mörtel wieder auflockern bezw. zerstören.

Die Anwendung von hydraulischem Kalk ist namentlich dann zu empfehlen, wenn mit hohen Sandzusätzen betonirt werden soll, weil hierbei in dem nur erdfeuchten Mörtel der Kalkteig schwer gleichmässig zu vertheilen ist.

Die Ausbeute an fertigem Mörtel stellt sich für die oben angegebenen Mischungen wie in folgender Tabelle angegeben; es ist hierbei Cement, Kalkteig und Sand zu 140 kg für 1 hl berechnet.

Mischung in hl					1 cbm Mörtel erfordert			
Cement	Sand	Kalkteig	Wasser	Ausbeute	Cement kg	Sand Liter	Kalk Liter	Wasser Liter
1	5	0,5	1,30	4,90	286	1020	102	265
1	6	1,0	1,35	6,00	233	1000	167	225
1	7	1,0	1,60	6,80	206	1029	147	235
1	8	1,5	1,60	7,80	182	1040	195	205
1	10	2,0	1,70	9,45	148	1055	212	180

Die Vorzüge der Cement-Kalk-Mörtel bestehen zunächst in der raschen Erhärtungsfähigkeit. Sie erreichen wie die Cement-Mörtel ohne Kalk schon in wenigen Tagen eine Festigkeit, zu deren Erlangung andere Bindemittel Wochen oder Monate bedürfen und nehmen dauernd

[1]) Kalkteig enthält immer über die Hälfte Wasser. 1 Hektoliter davon = 140 kg enthält durchschnittlich 63 kg trockenes Kalkhydrat, welches Gewicht nahezu auch 1 Hektoliter zu Pulver gelöschter hydraulischer Kalk hat.

und verhältnissmässig stark an Festigkeit zu. Ferner besitzen selbst die Mischungen aus gleichen Gewichtstheilen Cement und Fettkalkhydrat (entsprechend 1 Mass Cement auf 2 Mass Kalkteig) starke hydraulische Eigenschaften, so dass die Cement-Kalk-Mörtel schon nach wenigen Stunden dem Wasser widerstehen, während beispielsweise Trassmörtel erst nach 2 Tagen und Mörtel aus gutem hydraulischem Kalk erst nach mehreren Tagen dem Angriff des Wassers widerstehen. Endlich liefern die Cement-Kalk-Mörtel auch ganz vorzügliche Luftmörtel, die nicht allein ausserordentlich hohe Festigkeit erreichen, sondern sich auch durch grosse Volumbeständigkeit auszeichnen, deshalb wetterbeständig sind und in Folge ihrer grossen Dichte und raschen Erhärtung wie die reinen Cement-Mörtel Arbeiten selbst dann noch auszuführen gestatten, wenn Frost zu befürchten ist.

Ueber die Festigkeit verschiedener Cement-Kalk-Mörtel finden sich im Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1887 S. 63—65 Zahlenangaben; hier sei nur mitgetheilt, dass ein Mörtel aus 1 Theil Portland-Cement, $^1/_2$ Theil hydraulischem Kalk und 6 Theilen Sand (nach Gewicht) beim Erhärten im Freien nach 2 Jahren eine Zugfestigkeit von 43,8 kg für 1 qcm ergab und Mörtel der gleichen Zusammensetzung, der bei Frostwetter in's Freie kam, nach 1 Jahr 34,8 kg.

i) Wasserdichte Mörtel.

Für die Herstellung wasserdichter Cement-Mörtel kommt in Betracht, dass die Wasserdichtigkeit um so grösser ist, je fetter die Mischung, je dicker die Mörtelschicht ist und je länger der Mörtel erhärtet, da das Gefüge des Mörtels durch den Erhärtungsvorgang immer dichter wird und die Poren sich mehr und mehr schliessen. Die Durchlässigkeit eines Mörtels ist also um so grösser, je schwächer man die Mörtelschicht nimmt und je mehr man den Sandzusatz verstärkt und überdies bei grobem Sand grösser als bei feinem Sand. Nach Versuchen von R. Dyckerhoff (Protokoll des Vereins Deutscher Cement-Fabrikanten 1882 S. 43 u. 44) sind folgende Mörtel-Mischungen in einer 15 mm starken Schicht alsbald nach der Herstellung wasserdicht.

1	Theil	Cement,	1	Theil	Sand				
1	„	„	2	„	„	$^1/_2$	Theil	Kalkteig	
1	„	„	3	„	„	1	„	„	
1	„	„	5	„	„	$1^1/_2$	„	„	
1	„	„	6	„	„	2	„	„	

Es hängt wesentlich von der erforderlichen Festigkeit ab, welche dieser Mischungen man anwendet. Wird von dem Mörtel nicht sofortige Wasserdichtigkeit beansprucht, so kann man bei obigen Mischungen recht wohl 1 Theil Sand mehr, oder aber $^1/_2$ Theil Kalk weniger anwenden, da, wie oben schon angedeutet, die Dichtigkeit des Portland-Cement-Mörtels durch den Erhärtungsvorgang unter der Einwirkung des Wassers bald eine vollkommene wird.

k) Cementputz, Anstrich und Bemalung.

Wenn Wandflächen mit Portland-Cement verputzt werden sollen, so ist besonders darauf zn achten, dass die Oberfläche vorher von Staub, Schmutz usw. sorgfältig gereinigt, abgewaschen und wiederholt genetzt werde. Ebenso sind Fugen mit altem Mörtel gehörig auszukratzen. Auf schmutzigen Flächen haftet Cementputz nicht und auf Flächen, welche zu stark Wasser absaugen, entstehen leicht Risse, auch erlangt der Verputz

in Folge zu starker Wasserentziehung nicht die volle Härte und Festigkeit. Ferner sind Ziegelsteine, welche nicht frostbeständig sind oder zu Auswitterungen von Salzen Veranlassung geben, für den Cementputz zu vermeiden. Poröses Mauerwerk (aus Sandsteinen, Ziegelsteinen) muss von unten gegen die aufsteigende Erdfeuchtigkeit durch eine Isolirschicht geschützt sein, andernfalls kann der Cementputz durch die Wirkung des Frostes leicht abgesprengt werden.

Die Oberfläche von Wandputz, welcher der Witterung ausgesetzt ist, sollte nicht mit zu fettem Mörtel hergestellt werden, weil bei diesem die Neigung zur Bildung von Schwindrissen zu gross ist. Je mehr Sand, unbeschadet der geforderten Festigkeit genommen werden kann, desto haltbarer wird der Verputz sich gegenüber den Witterungseinflüssen erweisen. Man suche deshalb wo möglich die erforderliche Geschmeidigkeit des Mörtels durch entsprechend feinen Sand oder bei hohen Sandzusätzen durch Beigabe von etwas Kalk zu erreichen. Wenn thunlich, ist darauf zu halten, dass der Verputz in seiner ganzen Dicke aus der gleichen Mörtelmischung hergestellt wird, um der durch ungleichmässiges Schwinden verschieden fetter Schichten entstehenden Rissebildung vorzubeugen. Um grösseren Flächen die erforderliche Glätte zu geben, empfiehlt sich das Abreiben mit Filzscheiben. Anhaltendes Glätten mit der Kelle oder Stahlscheibe ist zu vermeiden, da solcher Verputz selten gleichmässig ausfällt, eine zu dichte Oberfläche erhält, gegen die Einwirkung des Frostes empfindlicher ist als rauher Verputz und zur Bildung von Haarrissen Veranlassung giebt.

Bei Wasserandrang lässt sich haltbarer Verputz nicht ausführen und es muss in solchem Falle für Ableitung des Wassers Sorge getragen werden.

Den Verputz an Aussenseiten von Gebäuden sollte man, wenn irgend möglich, nur im Frühjahr oder Herbst bei kühler, feuchter Witterung ausführen, da es bei heissem Sommerwetter äusserst schwierig ist, den Verputz genügend vor zu raschem Austrocknen zu schützen. Ist man aber dennoch genöthigt, Cementputz im Sommer herzustellen, so muss man mindestens für Abhaltung der direkten Sonnenstrahlen sorgen und den Verputz nach dem Abbinden öfter netzen.

Cementputz, welcher einen Anstrich von Oelfarbe erhalten soll, muss zuvor erhärtet und ausgetrocknet sein. Auf frischem Cementputz sind Oelfarben nicht haltbar, weil das Oel der Farben durch das Kalkhydrat und die Alkalien des Cements, welche bei frischem Cementputz oft in Tröpfchenform an der Oberfläche des Verputzes zu beobachten sind, verseift und hierdurch die Farbe zerstört wird. Bei längerem Stehen im Freien werden die Alkalien durch den Regen ausgelaugt und unschädlich gemacht, während man in geschlossenen Räumen durch wiederholtes Abwaschen des Verputzes nachhilft. Sehr zweckmässig ist es, Cementputz, der mit Oelfarbe gestrichen werden soll, nachdem derselbe einige Zeit gestanden hat, wiederholt mit stark verdünnter Schwefelsäure (auf 100 Theile Wasser 1 Theil käufliche konzentrirte Schwefelsäure) anzustreichen. Nach erfolgter Trocknung ist dann die Oelfarbe haltbar. Auch ein Anstrich mit kohlensaurem Ammoniak (2 Theile auf 100 Theile Wasser), soll sich gut bewähren.

Nach Sels (Chemikerzeitung 1889 Nr. 43 S. 696) empfiehlt es sich, um die Wirkung der Alkalien des Cements unschädlich zu machen, nachdem der Cement-Verputz wiederholt mit Wasser abgespritzt worden ist, nach 8 Tagen die Wandflächen 2 mal mit Leinölfettsäure zu tränken.

Sind diese Anstriche nach einigen Tagen hart geworden, so sollen die gewöhnlichen Leinölfarben haltbar sein.

Das Sicherste bleibt in jedem Fall, den Cementputz 1 Jahr lang (Sommer und Winter) stehen zu lassen, ehe man mit Oelfarbe streicht.

Aber auch Oelfarben-Anstriche sind im Freien nicht immer von langer Dauer. Es kommt daher für wetterbeständige Anstriche und Malereien auf Cement wesentlich das „Verfahren, um Cement für stereochromatische[1]) Bemalung tauglich zu machen" in Betracht. Dies Verfahren, welches in Deutschland und anderen Staaten patentirt wurde[2]) und sich vielseitig, und auch bei grösseren Ausführungen bewährt hat, ist beschrieben in der „Deutschen Bauzeitung" 1886 No. 88 und folgen wir hier im Wesentlichen den dortigen Mittheilungen.

Das Verfahren geht von dem Grundgedanken aus, die Cement-Oberfläche von Putz, flachen Platten, plastischen Ornamenten und Bildwerken aller Art möglichst porös zu machen, so dass die Farbe in die Poren eindringen kann und zwar durch einen Stoff, welcher für die sogenannte stereochromatische Bemalung die Silicat-Bildung unterstützt. Demgemäss wird der Cementputz für Fassaden in der Weise ausgeführt, dass man die obere Schicht in einer Stärke von etwa 2—3 mm aus sogenanntem Polychrom-Cement[3]), der fertig gemischt zu mässigem Preise in den Handel gebracht wird, zugleich mit der unteren, aus der gewöhnlichen Cementmischung bestehenden Schicht des Putzes herstellt. Nachdem dieser Putz, den man am besten mit einem Filzbrett glättet, etwa 4 Wochen oder länger vollendet und während dieser Frist nach Möglichkeit angefeuchtet und gegen direkte Sonnenstrahlen geschützt worden ist, damit durch gleichmässige Erhärtung Haarrisse vermieden werden, wäscht man ihn mit Kieselfluorwasserstoff-Säure[4]) ab, überstreicht ihn mit einer Wasserglaslösung, giebt ihm den aus haltbaren Farben hergestellten Anstrich in der gewöhnlichen Weise und fixirt diesen endlich mit Fixir-Wasserglas Bei dem Bestreichen mit Farbe ist der Malgrund vorher anzufeuchten. Das Fixiren erfolgt zunächst durch Anspritzen mittelst der bekannten Apparate, alsdann durch Ueberstreichen, bis die gewünschte Festigkeit der Farben erreicht ist.

Die plastischen Ornamente werden in der Art hergestellt, dass man auf die innere Fläche der Form eine 2—3 mm starke Schicht des Polychrom-Cements aufträgt und alsdann den Kern des Ornaments in feuchtem Zustand in der üblichen Weise in die Form einschlägt.

Die bisherigen Erfahrungen haben für diesen Malgrund und diese Malweise folgende Vortheile ergeben:

1. Der Malgrund ist nach der Abwaschung strichmässig rein.

2. Haarrisse kommen nur äusserst selten vor und werden durch weitere Vervollkommnung der Technik (Figuren werden z. B. aus einzenen Theilen zusammen gesetzt) gänzlich zu vermeiden sein.

3. Auswitterungen sind auf keinem nach dem patentirten Verfahren hergestellten Malgrunde nach Abwaschung mit der Säure bemerkt worden.

Da grössere und kleinere Friese, Ornamente usw. schon seit mehreren Jahren bei allen Unbilden der Witterung sich als dauerhaft bewiesen haben, so kann über die Haltbarkeit der Farben ein Zweifel kaum bestehen, zumal ihre Dauer durch die Porosität des Malgrundes und seine Eigenschaften dem Wasser gegenüber gesichert ist.

---

[1]) Von stereos = fest und chroma = die Farbe.

[2]) D. R. P. No. 29670 Klasse 80. Thon- und Steinwaaren-Industrie. Dr. G. von Koch und Dr. Adamy-Darmstadt. Verfahren, um Cement für stereochromatische Bemalung tauglich zu machen. Patent vom Deutschen Reich vom 18. April 1884 ab.

[3]) Dieser besteht aus einer Mischung von Portland-Cement und gemahlenem Bimsstein.

[4]) Neuerdings geschieht dies mit verdünnter Salzsäure

Am Schlusse dieses Abschnittes sei nochmals ganz besonders darauf hingewiesen, dass alle Cementarbeiten, wie auch in Abschnitt II S. 5 erörtert, namentlich in den ersten Tagen nach der Herstellung, genügend feucht zu halten sind, damit dem Cement das zur Erhärtung unumgänglich nothwendige Wasser nicht vorzeitig entzogen werde.

Sonnenschein und Wind sind daher nach Möglichkeit abzuhalten, und ausserdem ist wiederholtes Annetzen erforderlich. Je sorgfältiger das Feuchthalten des Cementmörtels anfänglich bewirkt wird, desto günstiger ist es für die zu erzielende Härte.

Ueber die Vorsichtsmaassregeln, welche bei Verarbeitung des Cements in sehr niedriger Temperatur zu befolgen sind, ist bereits im Abschnitt II das Nöthige mitgetheilt worden und kann daher hier auf das Seite 14 Gesagte verwiesen werden.

VI. Geschichtliches über Beton.

Beton (englisch Concret) kann man als „Mauerwerk aus ungeformten Massen“ erklären, insofern, als das den Haupttheil bildende Steinmaterial in allen seinen Grössen: vom noch nicht erbsengrossen Kieskorn bis hinauf zu dem eben noch „handlichen“ Findling oder dem Felsstück verwendet wird, ohne dass dasselbe zuvor eine Bearbeitung erfährt, welche auf einen gewissen höhern Grad von Uebereinstimmung in Gestalt und Grösse der Stücke hinausgeht, und als deshalb auch keine Regelmässigkeit in dem „Nebeneinander“ des Steinmaterials besteht.

Insbesondere ist es die Regelmässigkeit in dem Nebeneinander des Steinmaterials worin das bestimmende Merkmal von Mauerwerk im engeren Sinne liegt. —

Der Beton war schon den alten Römern bekannt; sie haben auch Beton-Bauten ähnlicher Art hergestellt, wie die heutigen. In der Nähe von Neapel ist in jener frühen Zeit eine Mole am Hafen Calligula aus Beton erbauet, wobei, nach Vitruvius, der Beton theils in Schüttungen theils in geformten Blöcken verwendet sein soll. Auch ausserhalb der Heimath haben die Römer Betonbauten ausgeführt: zu Richmond und zu Pevensey in England, wo noch heute Reste solcher erhalten sind. Dass man im Mittelalter den Beton in relativ sehr vollkommener Herstellungsweise kannte, beweist z. B. ein in Rochester stehendes Haus aus jener Zeit, dessen Mauern und Treppen aus Beton bestehen.

Die Kenntniss des Beton-Block-Baues der Römer scheint aber rasch verloren gegangen zu sein, da geschichtlich über denselben vor dem Jahre 1834 nichts wieder verlautet.

Die alten Römer haben beim Beton als Mörtel Kalk benutzt, welchen sie an der Luft sehr vorsichtig in langer Dauer löschen liessen; der Gebrauch der Santorinerde und Puzzolane zu Mauerwerk, welches demjenigen aus Beton ähnlich ist, scheint spätern Ursprungs zu sein, hat sich aber bis in die Gegenwart hinein in den Küstengegenden des mittelländischen Meeres in Uebung erhalten.

Dasjenige Land, in welchem die Benutzung von Beton von jeher am häufigsten stattgefunden hat, ist England. Auch dort benutzte man als Mörtel vorwiegend den — in England sehr verbreiteten — Wasserkalk und erst später Romanzement, welcher je nach Herkunft und Herstellungsweise verschiedene Sonderbezeichnungen führte.

Man muss annehmen, dass die Ergebnisse jenes älteren Betonbaues in England, namentlich diejenigen mit Romanzement ausgeführten, öfter unbefriedigend ausgefallen sind. Denn man liest in Veröffentlichungen aus den 70er Jahren, dass der in England „früher“ so beliebt gewesene Betonbau später in Verruf gekommen und erst um etwa 1860 mit grosser Vorsicht wieder aufgenommen worden sei.

Andererseits weiss man, dass im Jahre 1851 die Kaimauern eines

Dockhafens in Southampton (von Giles) aus Beton hergestellt worden sind, und zwar aus Kalkbeton eine Ausführung, die bei einem eigentlichen „Verruf“ des Betonbaues nicht wohl verständlich sein würde.

Die Betonbauten in Southampton hatten aber schon im Jahre 1835 einen Vorläufer in Woolwich gehabt, wo zu jener Zeit ein Bauunternehmer Ranger ein Trockendock und die Hafenmolen ganz in Beton bauete, welchen er aus Kalk und Fluss-Geschieben bereitete. Ranger machte bei der Betonbereitung von heissem Wasser Gebrauch und soll auf dieses Verfahren s. Z. ein Patent erhalten haben. Der Erfolg dieser Anlagen war jedoch theilweise ein übler: der Boden des Trockendocks brach, sei es, weil er zu schwach angelegt, sei es, weil die Beton-Beschaffenheit mangelhaft war; hingegen sind die Molen in gutem Zustande bis in die 80er Jahre erhalten geblieben.

Seit dem Anfange der 60er Jahre, einem Zeitpunkte, bis zu welchem die Kenntniss der vorzüglichen Eigenschaften des Portlandcements in weitere Kreise eingedrungen war, und man vielfache Gelegenheit gefunden hatte, die grosse Leistungsfähigkeit desselben an Beispielen zu erproben, hat der Betonbau in England eine immer steigende und für einzelne Zwecke eine so weit gehende Ausbreitung gewonnen, dass von englischen Technikern im Jahre 1886 die Ansicht ausgesprochen werden konnte, dass z. B. für Hafenmauern die Anwendung von Mauerwerk „ein Ding der Vergangenheit“ sei und „Aehnliches auch für den Bau von Trockendocks gelte“.*) Die Bedeutung dieses Ausspruchs wird erst durch Anführung der Thatsache ins rechte Licht gestellt, dass man noch 1865 beim Bau der grossen Millwall- und West-India-Docks in London Beton nur als Füllmasse für die im übrigen aus Ziegel-Verblendung und mit zahlreichen durchbindenden Ziegelschichten hergestellten Hafenmauern, zu benutzen wagte.

Was der Ausbreitung des Betonbaues in England die Wege geebnet hat, war vorwiegend wohl der Kostenpunkt; es ist Thatsache, dass dort der Beton für wesentlich geringeren Preis als Mauerwerk von gleicher Güte hergestellt werden kann. Der Hauptgrund dafür liegt theils darin, dass die zum Beton erforderlichen Materialien: Schotter, Flussgeschiebe, wie auch Kies und Sand fast überall zur Stelle sind, wohl noch mehr aber in dem Umstande, dass in England die Leistung des „gelernten“ Maurers unverhältnissmässig höher bezahlt werden muss als die Leistung des „ungelernten“ gewöhnlichen Arbeiters.

Noch andere Gründe, welche mitgewirkt haben, kommen erst an späterer Stelle zur Erwähnung; alle aber sind erst zu besonderer Wirkung gelangt durch das Vorangehen einzelner Männer, welche mit Verständniss die Wege des Fortschritts einschlugen und mit Beharrlichkeit verfolgten.

In der englischen Admiralität wurden in den 50er und Anfang der 60er Jahre die grossen Hafen-Erweiterungen geplant, welche von 1865 bis etwa 1875 in den Kriegshafenplätzen zu Portsmouth und Chatham verwirklicht worden sind, und welche, wie bekannt, zu den grossartigsten überhaupt existirenden Anlagen dieser Art zählen.

Man bewegte sich bei den Planverfassungen dieser Werke durchaus in hergebrachten Bahnen: Zu dem Portlandcement hatte man noch so geringes Vertrauen, dass, den Plänen entsprechend, von seiner Benutzung völlig abgesehen werden sollte. Bei Ausführungen unter Wasser sollten Puzzolane und Romancement, bei solchen über Wasser hydraulischer Kalk zur Anwendung kommen — und alles dies, trotzdem sowohl die Puzzolane, als der Romancement aus weiter Entfernung herbeizuschaffen waren, während

*) Concrete as applied to the Construction of Harbours. Exc. Min. of. Proceedings of the Institution of Civil-Engineers. Sess. 1886/7. Part i. — London 1886.

man aus Fabriken, welche in unmittelbarster Nähe des Bauplatzes, im Medway-Thale, arbeiteten und thatsächlich gutes Material lieferten, billigen Portland-Cement beziehen konnte!

Die ersten Verträge über die Ausführung der Werke wurden für Chatham im Jahre 1867 geschlossen. Es zeigte sich dabei aber sogleich, dass die regelmässige Zufuhr von hydraulischem Kalk in der geforderten Menge und Güte — insbesondere frischer Waare — unüberwindbare Schwierigkeiten bereiten würde. Erhielt man zeitweilig Zufuhren im Ueberschuss, so bereitete die Lagerung in solcher Weise, dass die Qualität des Kalkes keinen Schaden erlitt, Schwierigkeiten, und es machten sich ferner auch zuweilen Mängel beim Abbinden des unter Wasser verwendeten Betons geltend, die den erspriesslichen Baufortgang hemmten.

Diese Erfahrungen veranlassten viele Ueberlegungen und Versuche des bauleitenden Ingenieurs Mr. Bernays, welche endlich zu dem Entschlusse führten, an Stelle des Wasserkalks ausschliesslich Portland-Cement zu verwenden, für welchen man (rein) die Festigkeit von 17 kg pro qcm und das Gewicht von 140 kg für 100 l. vorschrieb. Es sind nach diesen Bedingungen für die Hafenwerke in Chatham im ganzen etwa 50 000 000 kg Portland-Cement zur Ablieferung gekommen. Der Cement wurde (zur grösseren Sicherheit gegen etwaiges Treiben) in dicht umschlossenen Schuppen etwa 1,2 m hoch aufgeschüttet und musste vor dem Verbrauch mindestens 3 Wochen lang „ablagern".

Dem Entschluss zum Portland-Cement überzugehen, stellten sich indessen äussere Schwierigkeiten nicht geringer Art in den bereits vollzogenen Vertrags-Abschlüssen mit dem Bauunternehmern entgegen. Um nicht Schadensersatz-Ansprüche der Unternehmer hervor zu rufen, konnte der Wechsel nur in solcher Weise zur Durchführung gebracht werden, dass die Endsumme der Verträge ungeändert blieb. Die Verträge schrieben Beton der Mischung 1 Theil Wasserkalk auf 6 Theile Flussgeschiebe und Kies vor. Dem Preise dieser Mischung stand derjenige eines Cement-Betons aus 1 Theil Portland-Cement auf 12 Theile Flussgeschiebe und Kies gleich; der Beton dieser sehr magern Mischung ward aber durchgängig derjenigen der oben angegebenen fetten Kalkbeton-Mischung in jeder Hinsicht überlegen befunden.

Bei den Hafen-Erweiterungen in Portsmouth sollte planmässig für Ziegelmauerwerk unter Wasser Mörtel aus Romancement der Zusammensetzung 1 Romancement, 2 Sand und für Haustein-Mauerwerk Puzzolane-Mörtel der Zusammensetzung 1 Puzzolane, 2 Kalk und 3 Sand verwendet werden. Man überzeugte sich aber schon beim Baubeginn (Anfang der 60er Jahre), dass die Nothwendigkeit den Romancement-Mörtel in nur ganz kleinen Mengen zu bereiten und sofort zu verarbeiten in unlösbaren Widerspruch mit den Anforderungen eines so grossen Baubetriebes treten würde. Was den Puzzuolan-Mörtel anbetraf so konnte man denselben von vorn herein auf Grund einiger Beobachtungen nur geringes Vertrauen schenken und es ward daher schon ganz im Anfang des Baubetriebes von der Ausführung des ursprünglichen Gedankens Abstand genommen und weiterhin ausschliesslich Portland-Cement, sowohl beim Mauerwerk als beim Beton, benutzt. Auch in Portsmouth konnte dies nur geschehen, nachdem mit dem General-Unternehmer eine Aenderung des Bauvertrages vereinbart war, bei welcher die Endsumme des Vertrages ungeändert bleiben musste.

Während aber Mr. Bernays in Chatham mit einer für die damalige Auffassung aussergewöhnlichen Kühnheit in der Verwendung von Beton für die allerverschiedensten Zwecke vorging, indem er Beton zu Kai- und Ufermauern, Trockendocks, Kanalbauten und überall, wo sich nur irgendwie Gelegenheit bot, unter einer grossen Manigfaltigkeit von Verhältnissen benutzte — wofür späterhin eine Anzahl Beispiele mitgetheilt wird — hielten die Bauleiter in Portsmouth eine gewisse Reserve ein. Sie benutzten Beton nur sparsam und blieben vielfach bei dem im Plan ursprünglich vorgesehenen Ziegelmauerwerk stehen, theilweise weil sie es scheuten sich in irgend ein Wagniss einzulassen, theils auch, weil weit gehende Aenderungen an dem Plan sie vielleicht in Schwierigkeiten mit dem General-Unternehmer gebracht haben würde. —

Alt eingebürgert ist der Betonbau in Frankreich, wo zu demselben früher insbesondere der Kalk von Theil, später auch der unter mehreren Sonderbezeichnungen gehende Romancement zur Verwendung kam.

In Frankreich ward der Beton sowohl in Schüttungen, als auch in geformten Massen zu Gebäudemauern, als endlich in Blöcken verwendet; der sogen. „Blockbau“ scheint in Frankreich schon sehr früh in vielfacher Anwendung gestanden zu haben. Er hörte aber ganz wieder auf, und sogar die Kenntniss desselben ist verloren gegangen, bis im Jahre 1834 Wiederaufnahme durch den Ingenieur Poirel stattfindet, der dazu gewissermassen durch die Noth getrieben wird.

Der Grund dafür war einfach genug: Der Gewinnung und dem Transport natürlicher Steine sind in Bezug auf die Grösse der einzelnen Stücke enge Grenzen gezogen; Stücke von nur 1 cbm Inhalt, oder etwas mehr, werden in der Gewinnung schon sehr kostspielig und verursachen beim Transport Schwierigkeiten, denen man, wenn es sich um weite oder mit Schwierigkeiten zurück zu legende Wege, oder auch um grosse Mengen handelt, kaum gewachsen ist. Andererseits ist jene Grösse der Natursteine bei Hafenbauten an Küstenpunkten, welche starkem Wellenschlag ausgesetzt sind, weitaus ungenügend.

Poirel, mit der Erweiterung des Hafens von Algier beauftragt, zog aus näheren Beobachtungen über das Verhalten von Steinschüttungen, die unter der Einwirkung des dort stattfindenden Wellenschlags standen, den Schluss, dass die dort zu benutzenden Stücke, um dem Wellenschlag mit Sicherheit widerstehen zu können, mindestens 10 t Gewicht erreichen müssten. So grosse Stücke natürlicher Herkunft zu beschaffen, war ausgeschlossen, und es blieb nur der Weg der künstlichen Herstellung übrig, bei welcher man für die Abmessungen der einzelnen Stücke von $3{,}4 \times 2{,}0 \times 1{,}5 = 10{,}2$ cbm Inhalt sich entschied. Dies war der Beginn des Blockbaues der neueren Zeit!

Ausser zu den grösseren Werken des Hafensbaues fand in Frankreich der Beton zu kleineren Bauten und Gegenständen von mancherlei Art schon früh vielfache Anwendung; namentlich sind kleinere Brücken und kleinere Wasserbassins in Frankreich vielfach aus Beton hergestellt worden. Bevorzugt wird dort bis in die Gegenwart hinein der sogen. Blockbau, vielleicht nur seines oben geschilderten Ursprungs wegen, vielleicht der typischen Bauweise der Hafenmauern wegen, die in Frankreich herrscht.

Die Beton-Bereitung in der früheren, etwa vor der Mitte der 60er Jahre liegenden Zeit unterschied sich von der heutigen dadurch, dass bei jener auf die Beförderung der Dichtigkeit und Festigkeit durch Anwendung von Pressen oder Stampfen Verzicht geleistet wurde, indem

man blosse „Schüttungen“ herstellte, in denen die dichte Lagerung der Theile sich einzig in Folge Wirkung der Schwere vollzog; bei dem früheren französischen Blockbau ist indessen um eine dichte Ausfüllung der Form zu erzielen, leichtes Stampfen zu Hülfe genommen; von der Vermehrung der Festigkeit, welche sich durch das Stampfen ergiebt, scheint aber keine Kenntniss bestanden zu haben.

Der Beginn der Anfertigung von eigentlichem Stampfbeton, welcher ein wesentlich verbessertes Erzeugniss gegenüber dem in loser Schüttung erzeugten Befon darstellt, schreibt sich erst aus dem Anfange der sechsziger Jahre her und erst seit jener Zeit ist es möglich, Betonbauten mit Sicherheit für guten Erfolg herzustellen, wenn an die Leistungsfähigkeit der Bauten, sei es in statischer Hinsicht, sei es in Bezug auf Wasserdichtigkeit, Anforderungen, die über das Gewöhnliche hinaus gehen, gestellt werden.

Ausser durch die Zuhülfenahme von Pressung unterscheidet sich die Bereitung des Stampfbetons von dem des gewöhnlichen Betons durch Verringerung des Wasserzusatzes zum Mörtel und überhaupt durch eine weit gehende Sorgfalt in der Auswahl, Zusammensetzung und Behandlungsweise der Materialien. Es kommt bei ihm sehr wesentlich auf genaue Bemessung des Wasserzusatzes an, der so knapp gehalten wird, dass der Mörtel blos „Erdfeuchte“ besitzt, im Gegensatz zu dem Zustande der Schlankflüssigkeit, welchen man demselben gemeinüblich in der Baupraxis zu geben pflegt und welcher gewöhnlich weiter geht als für die Güte des Mörtels zuträglich ist.

Es darf indessen ein zweiter Faktor, von dem die Sicherheit für die Güte der Betonbauten wesentlich abhängt, nicht übergangen werden; es ist dies die gleichmässig gute Beschaffenheit des Portland-Cements, welche erst erlangt worden ist, seitdem man den Portland-Cement auf seine Haupteigenschaften prüfen gelernt hat, seitdem diese Prüfungen ständig geübt werden, und seitdem Normen bestehen, durch welche in die Fabrikation, den Handel, die Verarbeitung und Prüfung Einheitlichkeit gebracht worden ist. Es bedurfte des Vorangehens dieser Normen und des auf ihnen fussenden sicheren Weiterschreitens der deutschen Cement-Technik, um bauliche Aufgaben, wie sie solche bisher gelöst hat, mit Sicherheit für den Erfolg in Angriff nehmen zu können. Es bezieht sich diese Ansicht vorzugsweise auf Brückenbauten aus Cementbeton, welche in den letzten 10 Jahren in zunehmender Anzahl und immer grösser gewordenen Spannweiten erbaut worden sind und ferner auf den Bau von grossen Reservoiren für städtische Wasser-Versorgungen, Gasbehälter-Bassins u. s. w. Für letztere beiden Bauwerks-Gattungen ist der Betonbau mehr als für andere Gattungen im Grossen benutzt worden und hat die besten Erfolge aufzuweisen, wie durch eine Anzahl von Beispielen, die in einem weiterhin folgenden Abschnitt des Buches erwiesen ist.

Erheblichen Eingang haben sich in den zwei letzten Jahrzehnten auch Röhren und Kanäle grösseren Kalibers aus Beton verschafft, die bei den zahlreich ausgeführten Wasserleitungen und Städte-Kanalisationen, welche diese Zeitperiode mit sich gebracht hat, benutzt worden sind. Bei der grossen Zahl von Aufgaben, die auf diesem Gebiete noch ausstehen, wird sich für diese Gegenstände auf lange Zeit hinaus der Cement-Industrie ein lohnender Absatz bieten.

Vielfache Verwendungen, welche dem Betonbau in England offen stehen, bezw. für welche er sich dort den Vorzug zu erringen gewusst

hat, haben sich demselben in Deutschland bisher nur zögernd erschlossen. Es gehören dahin z. B. auch Schleusen-, Dock-, Molen- und Kaimauer-Bauten. Andeutungsweise sei auf ein paar Beispiele grösserer Art, welche ausserhalb der Grenzen von England vorkommen, hingewiesen:

An der Donau in Ungarn wurde im Jahre 1854 die 100 m lange, 9 m weite Franz-Josef-Schiffahrtschleuse ganz in Beton erbauet und in den 70er Jahren in Frankreich die grosse Wasserleitung für Paris von der Vanne her, welche aus einem 2 m weiten Aquadukt aus Beton besteht, der in verschiedenen Strecken etwa 17 km. oberirdische Leitungen aufweist, welche auf hohen Bogenstellungen liegen, die bis 16 m über Thalsohle geführt sind. In England sammt seinen Colonien sind es vor allem gewaltige Blockbauten, welchen das Interesse sich zuwendet, weil sie in Abmessungen vorkommen, für die in anderen Ländern der Massstab mehr oder weniger fehlt. Unter Vorbehalt eingehenderer Mittheilungen an späterer Stelle mag hier einzig erwähnt werden, dass man in England in den Blockgrössen neuerdings bis zu 350 tons = etwa 160 cbm entsprechend einem Würfel von etwa 5,5 Seitenlänge gegangen ist und dass dort Blöcke von 100 tons, etwa 45 cbm, als nichts sehr Aussergewöhnliches betrachtet werden.

Etwas Aehnliches kommt in Deutschland bisher nicht vor; hier ist der Beton zwar bei Fundirungen oder als Füllmaterial beliebt, wird aber heute noch vielfach zu den frei liegenden Theilen des Baues mit Unrecht ausgeschlossen.

Diese Zurücksetzung ist vielleicht mit auf den Umstand zu schieben, dass in der Nähe der deutschen Küsten in den häufig vorkommenden Findlingen (erratischen Blöcken) ein Material zur Verfügung steht, welches oftmals die Stelle künstlicher Blöcke vertreten kann, oder auf Bauweisen, die sich aus früherer Zeit fest bei uns eingebürgert haben, und an denen man wegen der Einübung der zur Verfügung stehenden Arbeiterkräfte zuweilen auch blos gewohnheitsmässig festhält. Die Neigung dazu wird dadurch begünstigt, dass die Stellung der Techniker in Deutschland — namentlich der beamteten — eine weniger selbständige als in England und berechtigterweise auch ihre Neigung, die Verantwortung für Entschlüsse zu übernehmen, die ein gewisses Wagniss in sich bergen, meist geringer ist. Weiter kommt in Betracht, dass die deutschen Häfen fast alle mehr oder weniger weit gegen die Küste zurückgezogen, daher ungleich mehr geschützt als die französischen und englischen Häfen liegen. Die Mittel, welche man bedarf, sind daher in Deutschland weniger grossartig als in Frankreich und England und es besteht hier namentlich ein Bedürfniss für Blockbauten so riesiger Art, wie englische und französische Techniker sie in den letzten paar Jahrzehnten vielfach ausgeführt haben, nicht. Es ist endlich gestattet, daran zu denken, dass auch in dem feucht warmen Klima England's ebenfalls eine Ursache zu sehen ist, welche die dortigen Betonbauten leichter zu einer besonders guten Qualität, als in Gegenden mit vorwiegend trocknem Klima verhilft.

Wie dem aber auch sei, es erscheint von mehreren Gesichtspunkten aus geboten, dem geschilderten vergleichsweisen Zustande der Dinge nähere Aufmerksamkeit zu widmen. Es sind sehr grosse Massen von Mörtelmaterial, welche — konzentrirt an wenigen Stellen — gerade für diese Zwecke in Frage kommen. Und es ist festzuhalten, dass auch das Interesse der öffentlichen Verwaltungen und des Publikums Ausführungen in Beton an Stelle von Ausführungen in Mauerwerk vielfach begünstigen kann.

Man braucht hierbei nur an die Schwierigkeiten zu denken, welche Arbeiter-Ausstände für die Fortführung oder rechtzeitige Vollendung

eines Baues leicht mit sich bringen. Die Schwierigkeiten erwachsen hier aus der Unmöglichkeit rasch Ersatz für die ausständigen geschulten Handwerker zu finden. Sie werden meist in Fortfall kommen, wenn man einen Bau mit gewöhnlichen Arbeitskräften, wie es bei Beton-Ausführungen oft möglich sein wird, ausführt.

An dieser Stelle noch weiter als geschehen, auf die sehr zahlreichen Verwendungen einzugehen, welche für den Cementbeton im Gebiete des Hoch und Tiefbaues heute theils schon offen stehen, theils demselben noch erst zu erobern sind, erscheint nicht geboten, dies um so weniger, als eine ausgiebige Ergänzung der gegenwärtigen geschichtlichen Darlegungen in dem Schlusstheile, welcher zahlreiche Beispiele wechselnder Art vorführt, stattfinden wird.

VII. Eigenschaften des Betons und Rücksichtnahme auf dieselben bei Bauten.

Beton lässt sich fast in jede gewollte regelmässige oder unregelmässige Form bringen, so dass seine „Formungsfähigkeit“ über diejenige von Mauerwerk im allgemeinen hinausgeht, wenngleich die Herstellung einzelner Formen, wie z. B. solcher mit starken Unterschneidungen, oder weiten Auskragungen bei Mauerwerk leichter als bei Beton zu bewirken ist. Bei Schüttungen unter Wasser nimmt der Beton gewisse gröbere Formen, wie sie dem Bedürfnisse solcher Fälle genügen können, selbsthätig, d. h. allein unter Wirkung der Schwere an, während bei Zuhilfenahme von Taucherarbeit oder Einschalungen auch unter Wasser weniger einfache Formen herstellungsfähig sind.

Abgesehen von schon oben erwähnten Ausnahmefällen wird die Herstellung einer bestimmten Form aus Beton mit viel geringeren Mitteln bewirkt werden können, als bei Stein —, sowohl bei natürlichem als künstlichem — indem mit der Schaffung der die Form begrenzenden festen Hülle (Schalung usw.), ferner dem Vertheilen der Betonmasse innerhalb der Schalung, und event. dem Stampfen der Masse alles Erforderliche gethan ist. Bei Ausführungen in Natursteinen ist meist ein schwieriger Bearbeitungsprozess, bei künstlichem (gebranntem) Stein ein kostspieliger Brennprozess und bei beiden die verfeinerte technische Leistung eines Handwerkers erforderlich, um dieselbe Form wie bei Beton zu schaffen.

Die leichte Formungsfähigkeit des Betons ist es, welche seine Verwendung vielfach da noch gut möglich macht, wo die Verwendung von Mauerwerk sehr erschwert oder ganz unmöglich sein würde; der Hinweis auf die nahe liegenden zahlreichen Beispiele der Gründungen unter Wasser wird hierzu genügen. Aber wie man unter Wasser Schüttungen frischen weichen Betons ausführt, so kann man fernerweit mit bereits erhärteten Massen — Betonblöcken — unter Wasser ganze Bauwerke von Grund aus aufführen, oder auch bereits bestehenden Bauwerken durch Verstürzen grosser Blöcke gegen die zerstörenden Wirkungen des Wellenschlages Schutz verschaffen.

Eben so werthvoll wie die Eigenschaft der Formungsfähigkeit an sich ist es, dass die Herstellung der Form der Regel nach keine kunstgeübten Arbeitskräfte erfordert. Dies verschafft dem Beton an Stellen einen Vorzug, wo die Leistungen eigentlicher Bauhandwerker hoch im Preise stehen, oder nur schwer zu haben sind, wogegen an gewöhnlichen Arbeitskräften kein Mangel besteht. Wir sehen dementsprechend den Betonbau an entlegenen Küstenpunkten, aber auch anderweitig überall da bevorzugt, wo die Heranziehung und Erhaltung einer grösseren Anzahl von eigentlichen Handwerkern auf Schwierigkeiten trifft.

Die Möglichkeit, handwerksmässig geschulte Kräfte beim Betonbau ganz oder fast ganz entbehren zu können, ist aber ein Umstand, welcher, was in Kosten anbetrifft, dem Beton vor Mauerwerk meist den Vorzug verschaffen wird. Dies gilt jedenfalls dann, wenn die Hauptmasse der Rohmaterialien — Sand, Kies und Steine — entweder unmittelbar zur Stelle sind, oder ihre Beschaffung keine weiten kostspieligen Transporte erfordern.

Der Herstellung und dem Verbringen an Ort und Stelle von Werkstücken aussergewöhnlicher Grösse, wie sie bei manchen Bauten an offener Küste unentbehrlich sind, sind sehr enge Grenzen gezogen. Indem für die Grösse von Betonblöcken sozusagen keinerlei Grenzen bestehen und indem die Herstellung derselben sowohl auf fester als auf schwimmender Unterlage geschehen kann, kommt der Beton den Anforderungen des Hafen- und Seebaues viel weiter entgegen, als bei jedem anderen Baumaterial, welcher Art und Beschaffenheit es auch sein möge, denkbar ist. Mit Bezug auf solche und anderweite Verwendungsweisen ist die Eigenschaft des Betons von Bedeutung, in kurzer Dauer so weit zu erhärten, bezw. so fest zu werden, um gegen mässigen Wasserdruck, wie auch gegen spülende Wirkungen des Wassers ausreichend widerstandsfähig zu sein. Bei der Verwendung von Beton zur Abhaltung von Grund- oder Quellwasser in umschlossenen Baugruben, sowie bei Betonschüttungen in offenem Wasser, wird gerade auf diese Eigenschaft desselben gerechnet.

Bei der raschen Zunahme der Erhärtung und der Festigkeit wird die Widerstandsfähigkeit des Betons gegen Wasserdruck bald so gross, dass man von Wasserdichtigkeit selbst gegen hohen Druck sprechen kann. Diese Eigenschaft kommt insbesondere für den Gebrauch desselben bei Fundirungen zur Geltung, wenn dieselben unter Wasser ausgeführt und nachher der Bau im Trocknen fortgesetzt werden soll, oder wenn es sich um die rasche Herstellung von Fangedämmen handelt, in deren Schutz ein Bauwerk von Grund auf hergestellt werden soll.

Mit dem Erhärtungsvorgange des Betons sind in Folge chemischer Vorgänge zu minimale Volumen-Veränderungen verbunden. Desgleichen untersteht der Beton dem allgemeinen physikalischen Gesetz, bei Wärme sich auszudehnen und bei Kälte sein Volumen zu vermindern. Aehnlich auch bei Wechseln des Feuchtigkeitsgehalts der unmittelbaren Umgebung: Bei Feuchtigkeit findet Ausdehnung, bei Trockenheit Schwinden statt.

Ueber die Grösse der hier erwähnten Veränderungen sind Untersuchungen bisher nur spärlich angestellt.[1]) Versuche von Meier (Malstatt) haben ergeben, dass Cementmörtel ohne Sandzusatz innerhalb der Temperaturgrenzen von -5^{0} bis $+25^{0}$ C. an der Luft etwa denselben Ausdehnungskoeffizienten wie Eisen[2]) besitzt, und fast genau dasselbe auch bei Cementmörteln aus 1 Th. Cem. + 2 bis 6 Th. Sand stattfindet.

Es ist zu beachten, dass es sich hier sowohl um ein Temperatur-Intervall, welches die sogen. mittleren Temperaturen einschliesst, als auch um Mörtel solcher Zusammensetzungen, wie sie in der Baupraxis üblich sind, handelt, dass daher die von dem genannten Experimentator bei Laboratorien-Versuchen gefundenen Ergebnisse auch eine Uebertragung auf Ausführungen im grossen gestatten.

Es will aber ausserdem bemerkt sein, dass jene Aenderungen ver-

[1]) Vergl. Ann. des ponts et chauss. 1863, S. 181, sowie Bauschinger, Mittheilungen aus dem mechanisch-techn. Laboratorium der techn. Hochschule in München; Heft XII.

[2]) 0,0000122—0,0000145 bei Schweisseisen, für 1^{0} C. Temperaturschwankung.

schwindend sind, im Vergleich zu denjenigen, welche sich beim Erhärten von Cementmörtel unter Wasser als Längenvermehrung bezw. an der Luft als Schwinden einstellen. Letztere sind von Meier wiederholt zu 0,1 Prozent (als Längenvermehrung) und bis 0,2 Prozent als Schwindung beobachtet worden.

Mit einer Reihe von Cementen von Dr. Schumann, angestellte bis 1 Jahr ausgedehnte Proben über Volumenänderungen von Cementmörteln und Bausteinen lieferten folgende Ergebnisse: [1])

Ein Mörtel-Prisma von 100 mm Länge und 500 qmm Durchschnitt verlängert sich in Wasser gelegt um Milimeter:

Cement-Marke	Bindezeit Minute	bei Mörtel ohne Sandzusatz in der Zeit bis Wochen						bei Mörtel aus 1 Th. Cem. u. 3 Th. Normensand in der Zeit bis Wochen					
		1	4	13	26	39	52	1	4	13	26	39	52
I	30	0,047	0,067	0,081	0,094	0,113	0,123	0,013	0,017	0,018	0,023	0,026	0,032
II	660	0,014	0,029	0,037	0,055	0,065	0,070	0,007	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010
III	35	0,047	0,092	0,113	0,148	0,174	0,187	0,017	0,020	0,020	0,024	0,027	0,032
IV	540	0,122	0,154	0,171	0,191	0,199	0,202	0,039	0,044	0,048	0,051	0,053	0,057
V	35	0,044	0,085	0,110	0,133	0,154	0,165	0,009	0,012	0,012	0,013	0,014	0,022
VI	600	0,014	0,026	0,030	0,041	0,050	0,059	0,004	0,008	0,008	0,008	0,008	0,012
VII	20	0,069	0,113	0,152	0,180	0,198	0,213	0,016	0,026	0,032	0,037	0,039	0,043
VIII	210	0,032	0,062	0,088	0,111	0,122	0,127	0,012	0,019	0,023	0,031	0,034	0,035
IX	120	0,043	0,088	0,119	0,140	0,148	0,151	0,018	0,030	0,040	0,045	0,045	0,046
X	420	0,054	0,104	0,136	0,156	0,164	0,167	0,017	0,029	0,032	0,036	0,039	0,039
		0,048	0,082	0,104	0,125	0,139	0,146	0,015	0,021	0,024	0,028	0,030	0,033

Werden die Volumenänderungen der Mörtelprismen ohne und mit Sandzusatz bei Verhältniss 1 : 3 einzeln mit einander verglichen, so ergeben sich folgende Verhältnisszahlen:

nach	1	4	13	26	39	52	Wochen
	0,015	0,021	0,024	0,028	0,030	0,033	
	0,048	0,082	0,104	0,125	0,139	0,146	
in Prozenten ausgedrückt	31	26	23	22	22	23	

durchschnittlich 25 Prozent.

Auf die Bedeutung dieses grossen Unterschiedes in dem Verhalten des reinen und des mit Sand angemachten Cementmörtels wird weiterhin noch etwas einzugehen sein. Vorerst mag nur darauf hingewiesen werden, dass der Tabelle nach die Volumen-Vermehrungen bei beiden Mörtelarten mit der Zeit immer kleiner werden, was sich aus der Abnahme der Intensität der Erhärtungs-Vorganges erklärt.

Näher erkennbar wird die Bedeutung der Zahlen, wenn man denselben analoge Zahlenwerthe hinzufügt, welche bei Proben mit Bausteinen, ebenfalls von Dr. Schumann gewonnen sind.

[1]) Vergl. Protok. der VII. General-Versammlung d. Ver. Deutsch. Cementfabrikanten (1881.)

Derselbe hat bei Proben mit natürlichen und künstlichen Bausteinen die in folgenden Tabellen verzeichneten Längenänderungen gefunden:

Art der Bausteine	Ein Prisma von 100 mm Länge und 500 qmm Querschnitt 2 Wochen liegend bezw. im Wasser dehnt sich aus mm	an der Luft schwindet mm
1. Ziegelsteine:		
Rother Ziegelstein, leicht gebrannt	0,016	0,015
Weisser „ , scharf „	0,010	0,009
„ „ „ „	0,019	0,010
Oldenburger Klinker	0,006	0,008
Durchschnitt	0,013	0,011
2. Sandstein:		
Rother Pfälzer Sandstein, feinkörnig	0,006	0,018
„ „ „ , grobkörnig	0,016	0,023
Rother Sandstein, feinkörnig	0,046	0,055
Grauer Miltenberger Sandstein, feinkörnig . .	0,050	0,050
„ „ „ , sehr feinkörnig	0,206	0,178
Durchschnitt	0,065	0,065
3. Kalkstein:		
Lothringer weisser, poröser Kalkstein	0,004	0,008
„ Liaskalk	0,007	0,008
Litorinellen-Kalk von Biebrich	0,011	0,009
Dichter thonhaltiger „	0,026	0,026
Durchschnitt	0,012	0,013
4. Basalte:		
Basalt von Kirn a. d. Nahe	0,041	0,050
„ „ Oberbrechen b. Limburg a. d. Lahn	0,025	0,027
„ „ Steinheim b. Hanau	0,048	0,050
„ „ Neurod b. Wiesbaden	0,023	0,027
Durchschnitt	0,034	0,038
5. Granit	0,006	0,015

Aus den Zahlen der mitgetheilten beiden Tabellen ersieht sich, bezw. lässt sich schliessen:

1. Dass alle Cemente beim Erhärten im Wasser sich ausdehnen, und dass die Ausdehnung im Anfang, d. h. zu der Zeit, wo die Festigkeitszunahme am grössten ist, ebenfalls am grössten ist. Hieraus wiederum folgt, dass diese, dem Erhärtungsvorgange zuzuschreibende, absolut und relativ sehr geringe Ausdehnung anders als das sogen. Treiben, welches einzelne Cemente zeigen können, geartet ist und daher nicht mit diesem verwechselt werden darf.
2. Durch Zusatz von Sand: Magerung des Mörtels, wird die Volumenvermehrung erheblich verringert; bei dem — normalen — Mörtel aus 1 Gew.-Th. Cement und 3 Th. Sand beträgt dieselbe nur etwa ein Viertel derjenigen des Mörtels ohne Sandzusatz.
3. Gewöhnliche leicht gebrannte Ziegel, theilweise auch scharf gebrannte, wie desgleichen Kalksteine zeigen ähnliche Volumenänderungen wie die Cementmörtel 1 : 3.

4. Die Volumenänderungen bei Sandsteinen sind sehr ungleich und scheinen besonders von der Natur des Bindemittels im Stein, dagegen kaum von der Beschaffenheit des Korns abzuhängen; im allgemeinen scheint die Volumenänderung bei Sandstein das Dreifache und mehr desjenigen von Cementmörtel 1:3 zu betragen.
5. Bei Basalten beträgt die Volumenänderung das $1^1/_2$ — 3fache desjenigen von Cementmörtel 1:3.

Da im Beton Stein in jeder Korngrösse das vorwiegende Material ist, werden die Volumenänderungen desselben der Hauptsache nach von dem Stein- und in geringerem Grade von dem Cement-Antheil bedingt. Die Wasseraufnahmefähigkeit des Steinmaterials und die Empfindlichkeit desselben gegen Temperaturschwankungen sind es, welche im wesentlichen über die Grösse der Volumenänderungen von Beton entscheiden. Weil nun erfahrungsmässig die Volumenänderungen von Mauerkörpern in Grenzen bleiben, bei denen jene unschädlich sind, bezw. weil es möglich ist, Sicherungs-Vorkehrungen gegen den aus solchen Aenderungen möglicherweise hervor gehenden Schaden an den Bauwerken zu treffen, so wird dies bei Betonkörpern erst recht möglich sein und sind daher Befürchtungen in dieser Beziehung ganz unbegründet.

Die hier in Frage stehenden Volumenveränderungen, welche Folgen des Erhärtungsvorganges sind und als „arbeiten" des Betons bezeichnet werden können, sind um so grösser, je dichter die Betonmasse ist und umgekehrt; mit der Dichte wächst andererseits die Festigkeit. Darnach ist es zu empfehlen, die Anforderungen an die Festigkeit nicht unnöthig weit zu treiben, sondern sich mit der von dem Einzelfalle geforderten Grösse derselben zu begnügen.

Die Festigkeit und mithin Dichtigkeit des Betons hängt vom Mischungsverhältniss der Materialien ab; je geringer der Mörtel- bezw. Cement-Antheil, um so weniger fest und dicht fällt der Beton aus; die sogen. fetten Mischungen befördern daher das Arbeiten des Betons und die mageren Mischungen schränken dasselbe ein. —

Volumenänderungen, die in Temperatur- und Feuchtigkeitswechseln ihre Ursache haben, kann man in der Beschaffenheit, dem Mischungsverhältniss des Betons, nicht begegnen; für solche Aenderungen muss vielmehr, wie bei Mauerwerks- sowohl als Holz-Konstruktionen in der konstruktiven Durchbildung der nöthige Raum geschaffen werden. Dies geschieht theils durch Wahl entsprechender Formen, theils durch Theilung der Baumassen, durch Einlegen von Fugen, oder nachträgliche Herstellung von Einschnitten.

Hinsichtlich der Wahl zweckmässiger Formen von Betonbauten muss beachtet werden, dass die Zugfestigkeit des Cementmörtels im Vergleich zur Druckfestigkeit klein ist, da zwischen beiden das Verhältniss von etwa 1:10 stattfindet. Hiernach wird es sich sowohl aus Rücksichten der Oekonomie als auch zur Vermeidung von Rissen und Sprüngen empfehlen, die Formen eines Betonbaues so zu wählen, dass in demselben möglichst nur Druckspannungen und keine Zugspannungen vorkommen; wo das Auftreten letzterer nicht zu vermeiden ist sollen sie möglichst klein bleiben.

Die Art und Weise wie bei Wölbungen, Widerlagern und Stützmauern diesen Anforderungen genügt werden kann, ist bekannt. Die Formen müssen so bestimmt werden, dass die Lage der sogen. „Mittellinie des Drucks" in gewisse Grenzen eingeschlossen wird, d. h. innerhalb des mittleren Drittels des Querschnitts bleibt.

Belastete Bautheile wie Pfeiler und tragende Wände müssen zur Vermeidung von grösseren Zugspannungen gegen Ausbiegen oder „Kanten“ gesichert werden; dies wird oft schon durch eine reichliche Bemessung der Stärke derselben geschehen können.

Ebene oder gerade Bauformen würden unter Wirkung von Volumenänderungen ausbiegen und dabei Risse oder Brüche erleiden. Dies kann in vielen Fällen dadurch vermieden werden, dass man solche Bautheile von vorn herein etwas bauchig oder bogenförmig gestaltet; da alsdann die Aenderungen sich unmerklich und ohne Ueberanstrengung einzelner Stellen vollziehen werden. Ein bemerkenswerthes Beispiel liegt hierzu bei einer Aquadukt-Strecke der schon auf S. 76 erwähnten Vanne-Wasserleitung für die Stadt Paris vor. Eine längere, mehrere hundert Meter lange, hohe Thalübersetzung dieses Aquadukts war in gerader Linie ausgeführt worden. In Folge der Sonnenbestrahlung, welche die eine Seite erleidet, während die andere Seite ganz im Schatten liegt, zeigten sich bald nach der Fertigstellung erhebliche Risse an der bestrahlten Seite. Man hat dieselben leicht unschädlich gemacht, indem man in nicht zu grossen Abständen an der bestrahlten Seite Einschnitte mit der Säge in den Betonkanal, welche bis auf den Wasserspiegel hinabreichen, ausführte und so für die Bewegungen den nöthigen Raum nachträglich schaffte.

Bautheile, welche in ungleicher Weise beansprucht werden, z. B. der eine nur auf Zug, der andere nur auf Druck, sollen nicht „in einem Stück“ hergestellt sondern getrennt werden, weil eine nachträgliche Trennung schwer zu vermeiden ist. Das Gleiche gilt für Stellen, wo zwar kein Wechsel in der Art der Beanspruchung, wohl aber in der Grösse oder auch in der Richtung derselben eintritt, wenn die Verschiedenheiten nur einigermassen erheblich sind. Doch kommt bei der Frage: ob Trennung oder nicht? der Verlauf des Arbeitsvorganges in Betracht. Denn wenn die einzelnen Theile zeitlich getrennt hergestellt werden, kann es vorkommen, dass die zuerst hergestellten in Folge von Witterungswechseln Risse erhalten bevor der zweite Theil hinzugefügt wird. Dieser Gefahr kann man durch Herstellung des Werkes im Zusammenhange und den alsdann leicht ausführbaren Schutz vor Witterungswechseln begegnen.

Endlich soll man auch zwei Bautheile trennen, von denen der eine ständig dieselbe Last trägt, während die Last des anderen zeitlich Wechsel erleidet. Darnach wird es sich z. B. empfehlen, den Boden eines Wasser- oder Gasbehälter-Bassins nicht in einem Stück mit den aufgehenden Wänden und Pfeilern aufzuführen, sondern jeden Theil für sich. Ebenso wird man gewöhnlich besser Gewölbe (oder Kappen) aus Beton erst nachträglich einfügen.

Auf ein weiteres Eingehen hierauf muss, weil weit in das Gebiet der „Statik der Baukonstruktionen“ hinein führend, verzichtet werden; es sei aber noch darauf hingewiesen, dass es auch bei Betonkonstruktionen allgemein zweckmässig erscheint, scharfe Ecken und Absätze thunlichst zu vermeiden, da solche Stellen die natürlichen Ausgangspunkte für Risse oder Brüche bilden, deren Entstehung mit der Schaffung von scharfen Ecken oder Absätzen gewissermassen vorgearbeitet wird.

Trennungen pflegen leicht einzutreten wo Bautheile aus Beton mit Mauerwerk aus Ziegelstein oder natürlichem Stein zusammentreffen, z. B. wo Betonkappen zwischen Eisenträgern gegen eine Gebäudemauer stossen. Es kann sich hierbei sowohl um die Wirkung von Verschiedenheiten in den Volumenänderungs-Koeffizienten als auch dauernder Ungleichheiten, oder Wechseln in den Belastungsverhältnissen der beiden Bautheile, als

endlich in kleinen, unwahrnehmbaren Bewegungen des einen oder anderen Bautheils handeln und es mögen die betr. Fälle hinsichtlich ihrer Ursachen sehr verschieden liegen. Da eine genaue Einsicht in die bezüglichen Verhältnisse und eine Beherrschunng derselben der Regel nach unthunlich sein wird, ziehen einzelne Spezialisten mit Recht vor, auf die Benutzung von Mauern als Widerlager für eine Kappe, deren anderes Widerlager von einem Eisenträger gebildet wird, zu verzichten und strecken, dem entsprechend, auch entlang der Mauer einen Eisenträger als Widerlager. Der geringen Kostenvermehrung, welche dadurch entsteht, steht als Vorzug die grössere Einheitlichkeit der Konstruktion gegenüber. —

Gegen das begründete Streben nach Einheitlichkeit (Homogenität) verstösst eine Bauweise, welche in England früher vielfach Sitte war und welche man passend als Zellenbau bezeichnen kann. Man stellt dabei eine Art Gerippe aus Mauerwerk her, dessen Hohlräume mit Beton gefüllt werden; (weiterhin werden dazu mehrere Beispiele mitgetheilt). In Ufermauern z. B. wechseln schwache, oben durch die ganze Mauerdicke reichende „Bänder" von Mauerwerk mit mehr oder weniger hohen Schichten aus Beton regelmässig ab und es treten zu den wagrechten Theilungen auch senkrechte hinzu. Vereinzelt erhält die ganze Vorderseite der Mauer eine schwache Verblendung aus Ziegelstein oder natürlichem Stein. Die Zweckmässigkeit einer solchen Bauweise kann bezweifelt werden, da schon bei der Ungleichheit der Volumen-Veränderungs-Koeffizienten wahrscheinlich bald Trennungen erfolgen, deren Eintritt durch Bewegungen der Mauer in Folge von Wasserstands-Aenderungen vor derselben und von Belastungswechseln begünstigt wird. Auch muss mit der Wahrscheinlichkeit gerechnet werden, dass der Zusammenschluss von Beton und Mauerwerk von vorn herein nicht überall gleich gut ist, vielmehr hier und da Hohlräume oder mörtellose Stellen in den Anschlussflächen vorkommen, an welchen die spätere Ablösung grösserer Flächen ihren Anfang nimmt. Nach und nach kann dann der unmittelbare Zusammenhang zwischen den einzelnen Theilen der Mauer vollständig verloren gehen, wonach jeder Theil nur noch für sich wirkt und die Sicherheit für den Bestand in Frage gestellt ist. Dem zufolge scheint die Zellenbauweise in England neuerdings auch von der einheitlichen Bauweise verdrängt zu werden; wenigstens sieht man dieselbe bei neuen grossen Werken nicht mehr angewendet.

Anders ist selbstverständlich die Sachlage, wenn Beton nur als Füllmasse im Innern einer Mauer zur Benutzung kommt, deren Hinter- und Vorderseite in Mauerwerk hergestellt sind. Vorausgesetzt, dass hierbei die nöthige Stärke gegeben wird, können gegen eine solche Bauweise Bedenken konstruktiver Art nicht erhoben werden; der Beton wirkt bei derselben nur als todte Masse, welche die Standfähigkeit der Mauer vermehrt, er nimmt aber an den sonstigen Leistungen und den entsprechenden Spannungen des Mauerkörpers keinen Theil. —

In vergleichsweise ungünstiger Lage befinden sich Bauten, welche, wie Kaimauern, Molen, Wellenbrecher u. s. w. sich zu einem Theile dauernd im Wasser und zum anderen Theile dauernd an freier Luft befinden. Die Anforderungen an ihre Leistungen sind noch erheblich grössere, wenn die Höhe des Wasserspiegels stetig wechselt, und wenn die Bauwerke heftigen Wellenschlag auszuhalten haben. Solche Bauwerke sind unter dem fortwährend wechselnden Spiel der äusseren Kräfte in immerwährender Bewegung und auch unberechenbaren Kräftewirkungen unterworfen, welche an die Haltbarkeit der Konstruktion die denkbar höchsten Anforderungen stellen. Es würde vergebliches Bemühen sein, bei ihnen — gleichgültig,

ob sie in Betonbau oder in Mauerwerk ausgeführt sind — auf die Fernhaltung von Rissen oder selbst grösserer Trennungen hinaus zu gehen. Es ist nur dafür zu sorgen, den zu erwartenden Trennungen Stellen anzuweisen, wo ihr Vorkommen am wenigsten schädlich wirkt, wo ihr Verhalten genau beobachtet, und wo, wenn es erforderlich, eingegriffen werden kann.

Die Ausführung in Blockbau lässt solche unvermeidlichen Bewegungen, bezw. Trennungen in den zahlreichen Fugen zu. Bei Ausführung in Betonschüttungen wird man dafür durch Begrenzung der Kontinuität auf kurze Stücke des Baues Sorge tragen müssen; diese Stücke werden dann in sich selbständig sein. Die Zerlegung in einzelne Abtheilungen der Länge nach kann leicht mit Hülfe von Schalungen erfolgen, oder auch indem in die Schüttung an den bestimmten Stellen ein Brett eingelegt wird, welches beim Wachsen der Schüttung mit hochzunehmen ist. So hergestellte trennende Schlitze brauchen nur in senkrechtem Sinne vorhanden zu sein und können nach horizontaler Richtung hin fehlen. Dieselben brauchen auch nicht der ganzen Höhe nach durchzugehen; man wird sie daher, um dem Wasser keine besondere Gelegenheit zum Spülen zu bieten, nur bis nahe unterm Wasserspiegel hinabführen.

Die Anwendung des oben angegebenen Hülfsmittels ist auch bei Kai- und Ufermauern angezeigt, welche zwar heftigen Wellenschlägen nicht ausgesetzt zu sein pflegen, doch aber recht ungünstig situirt sind, weil sie mit drei Medien: dem Wasser, der Luft, und der (Hinterfüllungs-) Erde sich in Berührung befinden und in diesen drei Medien verschiedene Temperaturzustände herrschen. Auch kommen gelegentliche sonstige Anstrengungen durch den Gegenstoss von Schiffen, durch schwere Belastung der Kais mit Gütern, Materialien u. s. w. vor. —

Estriche aus Cement, wenn dieselben unmittelbar auf gemauerte Kappen oder auf Ziegelpflaster gelegt werden, weisen nach kurzer Zeit Risse auf, weniger leicht, wenn die Kappe aus Beton besteht. Um den Uebelstand zu beseitigen, oder doch wesentlich zu mildern, empfiehlt es sich, eine Lage von 2—3 cm hoher Sandschüttung zwischen Mauerkappe und Cementestrich zu bringen, welcher die Aufgabe zufällt, die Bewegungen des Mauerkörpers „in sich“ zu verarbeiten.

Die Herstellung von Estrichen von grösserer Stärke auf wandelbarem Grunde, wie z. B. auf Gehwegen und Promenaden fordert besondere Vorsicht wenn sie rissefrei bleiben sollen, weil bei der nur geringen Zugfestigkeit des Betons die ungetheilte Estrichplatte den Bewegungen des Untergrundes nicht immer zu folgen vermag, ohne Risse oder Brüche zu erleiden. Das vielfach benutzte Hilfsmittel, die Estrichfläche zu kerben, so dass sie in Platten getheilt erscheint, ein Mittel, welches den Zweck hat, die zu erwartenden Risse in die Kerben zu verlegen, um dieselben „unsichtbar“ zu machen, ist nur bei sehr sachgemässer Ausführung, wozu namentlich die Herstellung einer gut gestampften, durchlässigen Unterlage aus Kies oder Schlacke gehört, von Erfolg. Im allgemeinen thut man daher besser, anstatt des Estrichs Platten zu benutzen, deren Grösse der Beschaffenheit des Untergrundes einigermassen entsprechen muss. Je weniger sicher der Grund, oder je mehr abhängig derselbe von Feuchtigkeitswechseln, Frost, Erschütterungen usw. ist, um so kleiner muss die Plattengrösse gewählt werden. Ueber die Plattengrösse von mehr als 50 cm Seite hinaus zu gehen, empfiehlt sich mit Rücksicht auf zu erwartende Brüche nicht; bei sehr wandelbarem Grunde wird man zweckmässig auf die Grösse von etwa 30 und selbst nur 25 cm Seitenlänge hinab gehen.

Dass ohne Anwendung einer gut isolirenden Zwischenlage von Pappe

oder Sand die Legung eines Cementestrichs oder Cementplatten-Fussbodens auf Balkenlagen keinerlei Erfolg verspricht, braucht nach dem Vorangeführten kaum erwähnt zu werden.

Auf S. 80 ist mitgetheilt worden, dass die Längenänderungen des gemagerten Cementmörtels nur etwa $^1/_4$ desjenigen ohne Sandzusatz betragen; dieser Unterschied will bei Estrichen und Platten aus Beton beachtet sein, wenn solche nicht in ganzer Dicke mit derselben Mörtelmischung hergestellt werden. —

Vielfach werden kleine, in der Oberfläche von Cementwaaren erkennbare Risse (Haarrisse) ohne Grund als bedenkliche Erscheinungen angesehen, weil man, irrthümlich, annimmt, dass dieselben sich bis zu grösseren Tiefen in die Masse hinein fortsetzen. Solche „Schwindrisse" verbleiben jedoch in der oberen Schicht und zeigen sich, wenn die Oberfläche aus ungemagertem Mörtel besteht und dem Wechsel der Witterung ausgesetzt ist. Die Entstehung von Haarrissen wird vermieden, wenn man zu der obersten Schicht eine Mörtelmischung, 1 Theil Sand auf 1 Theil Cement, oder noch einen etwas höheren Sandantheil nimmt.

Im übrigen ist es nothwendig, kurz auf einen Umstand hinzuweisen, welcher Gegenständen aus Cement oft eine relativ ungünstige Beurtheilung zuzieht. Ihre Fläche ist eintheilig, ihre Färbung fahl; beides kommt der Erkennbarkeit selbst der feinsten Haarrisse in hohem Grade zu Statten. Mauerwerksflächen sind dagegen mehr oder weniger fein getheilt; die Fugenfüllung tritt gewöhnlich gegen die allgemeine Fläche zurück, liegt daher oft im Schatten. Bei Ziegelmauerwerk kommt noch die Tiefe des Färbungstons hinzu und alle diese Umstände erklären es, dass Mauerwerk im allgemeinen für rissefrei gehalten wird, im Widerspruch mit den Ergebnissen genauerer Untersuchungen, zu welchem im übrigen nur selten Anlass gegeben sein wird. Wäre bei Mauerwerk die Untersuchung der Fläche auf kleine Risse ebenso sicher und leicht ausführbar, wie bei den Flächen von Cementgegenständen, so würde die allgemein eingebürgerte Annahme, dass letztere in der Regel Risse zeigen, während solche bei Mauerwerk fehlen, sich nicht haben einbürgern können. —

In der Frühzeit des Prüfungsverfahrens wurde der Cement ausser auf Volumenbeständigkeit nur noch auf Zugfestigkeit geprobt und erst etwa 10 Jahre später ist die Probe auf Druckfestigkeit hinzugetreten; gleichzeitig damit fing man an, auch den weiteren Eigenschaften des Cements: der Adhäsions- und der Abnutzungsfestigkeit Beachtung zu schenken.

Der Adhäsionsfestigkeit kommt von beiden die mindere Bedeutung zu, insofern dieselbe fast nur für die Beurtheilung eines Cements auf seine Eignung zu Putzzwecken Bedeutung hat und man hierüber in den meisten Fällen auch ohne Probung Gewissheit besitzt, selbst wenn es sich etwa um das Verlangen einer aussergewöhnlichen Leistung handelt. Für die Benutzung von Cementmörtel in gewöhnlichem Mauerwerk ist die Adhäsionsfestigkeit leicht ausreichend, von etwas grösserer Bedeutung nur für besondere Zwecke, wie z. B. den Fugenverstrich von Dächern usw.

Die Adhäsionsfestigkeit von Cement an Eisen ist nach Versuchen an Monier-Konstructionen von Bauschinger zu 40—47 kg/1 qcm angegeben worden.

Die Abnutzungsfestigkeit kommt in Frage, wo es sich um die Verwendung von Cement zu Estrichen, Platten und Fliesen handelt, eine Verwendungsweise des Cements, welche von Jahr zu Jahr an Umfang zu-

nimmt. Desgleichen kann die Abnutzungsfestigkeit auch von Bedeutung für Cement sein, welcher zu Röhren und Kanälen benutzt werden soll, in denen mit Sand und Kies gemischtes Wasser sich bewegt, oder endlich für Cement, der zu Bauwerken bestimmt ist, welche, wie Molen und Hafenmauern, dem reibenden — und bezw. schleifenden — Einfluss stark bewegten Wassers ausgesetzt sind.

Sowohl deswegen, weil die Zugfestigkeitsprobe leicht ausführbar ist, als auch wegen der Möglichkeit, aus ihren Ergebnissen ein sicheres, Urtheil allgemeiner Art über die Güte des der Probung unterworfenen Cements zu gewinnen, hat die Zugprobe eine gewisse Bevorzugung vor den anderweiten Probungen erfahren und dies wiederum hat mit dazu beigetragen, dass vielfach im Publikum auf hohe Zugfestigkeit des Cements ein ganz besonderer Werth gelegt wird, ungeachtet der Cement in der Baupraxis weniger häufig auf Zug- als auf Druckfestigkeit beansprucht wird, und ungeachtet der Thatsache, dass die Baupraxis gar nicht in der Lage ist, eine besonders hohe Zugfestigkeit von Cement ökonomisch ausreichend auszuwerthen.

Durch den Hinzutritt der oben genannten anderweiten Prütungen ist man aufmerksam geworden, dass hohe Zugfestigkeit sich im allgemeinen nicht mit hoher Leistungsfähigkeit des Cements, was Abnutzung betrifft, deckt, vielmehr letztere Eigenschaft anderen Gesetzen folgt, die noch nicht näher ermittelt sind.

Eine grössere, auf 28 deutsche Cementmarken ausgedehnte Untersuchung auf Abnutzungsfestigkeit hat der Vorsteher der Königlichen Prüfungsanstalt für Baumaterialien zu Berlin, Professor Dr. Böhme ausgeführt und über die Ergebnisse derselben in den „Mittheilungen aus den Kgl. technischen Untersuchungsanstalten“ einen Bericht veröffentlicht. Die Probestücke — Würfel von 50 qcm Fläche — wurden auf einer rotirenden Scheibe aus Gusseisen, die mit Schmirgel bestreut ward und, bei Ausübung eines gewissen Drucks auf die Oberseite der Würfel, während einer gewissen Dauer einem Schleifprozess unterworfen. Der Verlust, den sie dabei erlitten, ward durch Verwiegung vor und nach der Probe ermittelt und alsdann auf ccm umgerechnet.

Wenn man die von Dr. Böhme gefundenen zahlenmässigen Resultate in Gruppen zerlegt und Durchschnittszahlen zieht, so ergeben sich folgende Resultate:

1. Cementmörtel ohne Sandzusatz verhält sich gegen Abnutzung ungleich weniger günstig als Cementmörtel mit Sandzusatz, da er etwa der Abnutzung von Mörteln aus 1 Cement und 3,5 Theilen Sand gleichsteht.
   In der Abnutzung der Mörtel ohne Sandzusatz ist keine Gesetzmässigkeit zu erkennen, namentlich auch kein Zusammenhang mit der Zugfestigkeit.
2. Gleicherweise verhalten sich auch Cementmörtel mit hohem Sandzusatz ungünstig gegen Abnutzung und auch bei ihnen erscheint die Gesetzmässigkeit des Vorganges stark verdunkelt. Deutlich ist das Bild noch, welches der Cementmörtel 1 : 3 gewährt, woraus sich die Ansicht rechtfertigt, dass, um noch günstige Abnutzungs-Verhältnisse zu erlangen, der Mörtel nicht wesentlich magerer als 1 : 3 zusammengesetzt werden darf. Nur ein paar von den untersuchten Cementmarken verhielten sich bei der Mörtelmischung 1 : 4 noch relativ günstig gegen Abnutzung.
3. Am günstigsten in Bezug auf Abnutzung verhält sich die Mörtelmischung 1 : 1 und fast ebenso günstig die Mörtelmischung 1 : 2.

4. Gleichwie bei Zug- und Druckproben spricht sich das Verhalten des Cements gegen Beanspruchung auf Abnutzung am klarsten bei den sogen. Sandproben, u. z. bei Mörtelmischungen 1 : 1 oder 1 : 2 aus.
5. Mit Bezug auf ihre Leistung gegen Abnutzung werden diejenigen Cementmarken den Vorzug beanspruchen können, bei denen der Mörtel mit und ohne Sandzusatz die niedrigsten Abnutzungszahlen ergiebt.
6. Unbeschadet des abweichenden Verhaltens, welches einige Cementmarken zeigen, lassen die Zahlen der Tabelle einen gewissen Zusammenhang zwischen der Abnutzungsfestigkeit und der Zugfestigkeit erkennen.

   Beide nehmen mit einander zu, die Abnutzungsfestigkeit aber längst nicht in dem Maasse, wie die Zugfestigkeit. Da aber auch besonders hohe Zugfestigkeit mit niedriger Abnutzungsfestigkeit zusammentraf, folgt, dass die Zugfestigkeit eines Cements keinen zuverlässigen Maassstab für die Beurtheilung desselben auf eine Leistung gegen Abnutzung bietet, dieselbe vielmehr nur einen ganz allgemeinen Anhalt gewährt.
7. Die von Dr. Böhme erlangten Zahlen liessen ferner auch keinen gesetzmässigen Zusammenhang zwischen der Mahlfeinheit und der Abnutzungsfestigkeit eines Cements erkennen.

Die Mittheilung aller vorstehenden Schlussfolgerungen erfolgt unter Hervorhebung, dass dieselben auf eine beschränkte, nur an einer Stelle ausgeführte, auf 4wöchentliche Dauer beschränkte, Probungen gestützt, daher der Bestätigung durch weitere namentlich auf längere Dauer erstreckter Versuche bedürftig sind. Dies muss um so mehr hervor gehoben werden, als die Ergebnisse anderweiter Versuche auch abweichende Resultate geliefert haben.

Eine Norm, nach welchem Cement auf seine Abnutzungsfestigkeit einigermassen sicher beurtheilt werden könnte, fehlt bis jetzt und muss ihre Feststellung — zusammen mit dem geeignetsten Prüfungs-Modus — noch von der Zukunft erwartet werden. Denn es zeigen die Ergebnisse der Schleifversuche zunächst so viel Auffälliges, dass ihre Eignung für den vorliegenden Zweck noch nicht als sicher erwiesen anzunehmen ist.

Gegen hohe Hitzegrade besitzt Cement, wie bereits S. 29 angeführt worden ist, eine grosse Widerstandsfähigkeit; indessen sind die darüber vorliegenden Erfahrungen nicht ganz übereinstimmend.

Dr. Frühling hat durch 6—7 Stunden anhaltende Rothglühhitze nur eine wesentliche Herabsetzung der Zugfestigkeit (auf etwa 30 Procent der normalen), dagegen kein Zerfallen der Probestücke erzielt[1]).

Bei Feuersbrünsten ist beobachtet worden, dass, während von eisernen Wangen und in unmittelbarer Nähe liegenden Eisenträgern Theile abgeschmolzen wurden, Treppenstufen aus Beton unzerstört blieben.

Sehr hohe Widerstandsfähigkeit von Beton gegen beträchtliche Hitze wird auch dadurch erwiesen, das Fabrikschornsteine aus Beton sich bewähren; in solchen kommen bekanntlich Temperaturen bis zu etwa 400° vor. Bei der starken Abkühlung, welche die Aussenfläche solcher Schornsteine erfährt, also einer grossen Temperatur-Differenz zwischen aussen und innen, unterliegen dieselben auch sehr hohen Beanspruchungen ihrer Festigkeit in Folge ständig vor sich gehender Volumen-Aenderungen. Dass sie solchen Beanspruchungen erfolgreich widerstehen, beruht auf den

[1]) Protokoll d. IV. Generalversammlg. d. Ver. Deutsch. Cementfabrikanten, 1881.

S. 80 ff. näher erörterten geringen Volumen-Veränderungen, welche magere Cementmörtel bei Temperaturwechseln erleiden, wie ferner darauf, dass die Cylinderform der Schornsteine, weil in derselben für gewöhnlich nur reine Zug- und Druck-Spannungen auftreten, eine solche ist, bei der dem Betonkörper die Möglichkeit zu relativ weit gehenden Bewegungen verbleibt, ohne dass dabei sogleich Risse oder Brüche zu entstehen brauchen. Es sei hierzu auf die S. 82 ff. gemachten bezügl. Ausführungen hingewiesen.[1])

Es sind hier endlich noch anderweit gemachte Erfahrungen kurz zu erwähnen, welche beweisen, dass eine Temperatur von etwa 150° zwar das weitere Fortschreiten der bereits vorhandenen Festigkeit des Cementmörtels hindert, andererseits aber auch diese Festigkeit nicht wieder herabgehen lässt. Es werden demnach Wände und Gewölbe aus Beton, wenn dieselben erst die zu ihrem Bestande ausreichende Festigkeit erlangt haben, dauernd jener Temperatur ausgesetzt werden dürfen, ohne dass Gefahr für ihren Bestand zu fürchten ist.

Darnach können also auch z. B. Heiz- und Desinfektionskammern, Dampf- und Heissluft-Baderäume u. s. w. mit voller Sicherheit für den Erfolg in Betonbau hergestellt werden. — Gut bewährt hat sich auch die Verwendung von Cement zur Dichtung der Mannlochdeckel von Dampfkesseln.

Ueber die Festigkeit von Beton sind Versuche bisher nicht häufig, jedenfalls bei weitem nicht in derjenigen Anzahl wie mit Cement-Mörteln ausgeführt worden. Dies liegt hauptsächlich daran, dass wenn solche Versuche von unmittelbarem Werthe für die Baupraxis sein sollen, sie mit viel grösseren Probestücken, als bei der Cementmörtel-Prüfung ausreichend sind, angestellt werden müssen, was nur mit grossen Schwierigkeiten und Kosten ausführbar ist. Da indessen, unter der unerlässlichen Voraussetzung, dass die Festigkeit des beigemischten Kies- und Steinmaterials nicht hinter derjenigen des Cementmörtels zurückbleibt, die Festigkeit von sachgemäss hergestelltem Beton durch die Festigkeit des Cementmörtels bestimmt ist und daher diese als Grundlage bezüglicher Rechnungen angenommen werden kann, ist der bisherige Mangel an Probe-Resultaten von Beton kein besonders fühlbarer.

Was davon in der Oeffentlichkeit vorliegt, bezieht sich auf die Prüfung von Würfeln auf Druckfestigkeit und auf die Prüfung balkenartig geformter Stücke (wie z. B. Treppenstufen) auf Biegungsfestigkeit.

Ehe auf die betr. Probungen eingegangen wird, ist ein Umstand kurz zu berühren, welcher die vergleichende Beurtheilung von Festigkeitszahlen die bei Prüfung von Beton erlangt sind, oft als unzulässig erscheinen lässt. Es wird die Zusammensetzung des Betons meist angegeben indem man sagt: Beton aus 1 Th. Cement, x Theilen Sand und Kies und y Theilen geschlagenen Steinen oder Geschieben u. s. w. Alle solche Angaben gewähren, wenn es sich um Raumtheile handelt, kein richtiges Bild über die Zusammensetzung, des Betons insofern als dabei die Grösse der zwischen den gröberen Theilen sowohl, als zwischen den Sandkörnern verbliebenen Hohlräume ausser Betracht gelassen ist. Die Hohlräume zwischen den gröberen Theilen müssen mit Mörtel, diejenigen zwischen den Sandkörnern

[1]) Vergleichsweise seien hier (nach Zeitschr. des Hann. Archit- u. Ingen.-Vereins, 1874, S. 319) Angaben von Lang mitgetheilt, nach welchen für 100° C. Temperatur-Unterschied die Längenzunahmen eines 100 mm langen Prismas betragen: bei Granit 0,0371 mm, bei grauem belgischem Marmor 0,0584 mm, bei Grünsandstein 0,1116 mm und bei weissem carrarischem Marmor 0,1119 mm.

mit Cementtheilchen getüllt werden. Ermittelungen über die Grösse dieser Hohlräume, d. h. desjenigen Mörteltheils welcher in die Betonmasse hinein geht, ohne in Masszahlen wie den obigen zum Ausdruck zu gelangen, werden aber nicht immer ausgeführt. Daher erscheint der Cementantheil in solchen Zahlenangaben gewöhnlich zu gering.

Derselbe kommt zum richtigen Ausdruck nur in der Wassermenge, die nothwendig ist, um alle Hohlräume in einer gewissen Menge von dem Gemisch aus Sand, Kies und Steinschlag zu füllen.

Unter Vorbehalt weiteren Eingehens auf diesen wichtigen Punkt in dem weiterhin folgenden Abschnitt über Betonbereitung sollen hier einige, nach dem Vorhergehenden wohl nicht als gleichwerthig anzusehenden, Versuchszahlen kurz mittgetheilt werden.

R. Dyckerhoff ermittelte bei mit Betonwürfeln angestellten Festigkeitsversuchen vorab die zur Füllung der Hohlräume erforderliche Mörtelmenge, schlug derselben, damit nicht Korn an Korn unmittelbar anliege, vielmehr Sonderung durch eine dünne Hülle erfolge, 15 Prozent hinzu und formte mittels Einstampfen in Formen Würfel von 10 cm Seite, welche aus Rheinsand und Rheinkies mit der zwischen 5 und 30 mm wechselnden Grösse des Korns bereitet waren. Der Cement hatte die Festigkeit von 16,3 kg nach der Normenprobe und gehörte, bei 1 Stunde Bindezeit, zu den sogen. Mittelbindern. Die Probung der Würfel nach 1 Tag Erhärtung an der Luft und 27 Tagen unter Wasser lieferte folgende Ergebnisse*):

Tabelle 1.

Mischungsverhältniss in Raumtheilen				Druckfestigkeit	Mischungsverhältniss in Raumtheilen				Druckfestigkeit
Cement	Kalkteig	Sand	Kies	kg/1 qcm	Cement	Kalkteig	Sand	Kies	kg/1 qcm
1	—	2	—	151,8	1	—	4	—	75,2
					1	—	4	5	90,9
1	—	2	3	196,2	1	—	4	8,5	86,0
1	—	2	5	170,5					
1	—	—	5	69,9	1	1	6	—	53,5
					1	1	6	12	52,1
1	—	3	—	98,8					
1	—	3	5	116,6					
1	—	3	6,5	108,2					

R. Dyckerhoff stellte, theils aus dem Grunde, um den Verhältnissen der Praxis etwas näher zu kommen, noch andere Festigkeits-Versuche mit Betonwürfeln in folgender Art an. Es wurden Betonkörper von 1 m Länge, 0,4 m Breite und 0,4 m Höhe hergestellt, wobei theils Kies, theils geschlagene Steine verwendet wurden. Der Kies hatte 5—45 mm Korngrösse; der Kiessand bestand aus gleichen Theilen Sand und Kies, letzterer bis zu 18 mm Korngrösse. Die Hohlräume erreichten etwa 50 Prozent; der Mörtel- (bezw. Cement-) Antheil ward wie oben bestimmt.

Nach 7monatlicher Erhärtungsdauer der Betonblöcke im Freien

*) Protokoll der Generalversammlung des Ver. Deutscher Cementfabrikanten 1880, S. 38 u. 39 und Deutsche Bauzeitung 1880, S. 132.

wurden aus denselben Würfel von 20 cm Seitenlänge gesägt, welche bei der Probung die in Tabelle 2 angegebenen Festigkeitszahlen (u. z. bei nassem Zustande), lieferten.

Tabelle 2.

Mischungsverhältniss in Raumtheilen			Druckfestigkeit	Mischungsverhältniss in Raumtheilen			Druckfestigkeit
Cement	Sand	Kies	kg/1 qcm	Cement	Kiessand	Steinschlag aus bezw.	kg/1 qcm
	3	6	140,0	1	5	8 Basalt	147,9
	4	8	121,2	1	6	10 Kalkstein	121,0
	5	10	94,1	1	7	11 Sandstein	83,0
1 + 1 Kalkteig	6	12	96,8	1 + 1 Kalkteig	8	13 „	91,2

Durch die Zahlen der Tabelle 1 wird erwiesen:

1. Dass ein Beton, welcher das richtige Mischungsverhältniss von Sand und Kies hat, etwa die gleiche Festigkeit wie der Cementmörtel besitzt; Voraussetzung ist dabei, dass beide eingestampft wurden.
2. Beton ohne Sandzusatz — nur mit Kies hergestellt — hat geringere Festigkeit als der mit Sand angemachte; der Grund dafür ist der, dass Hohlräume und unsatte Berührungsstellen zwischen den Kieskörnern verbleiben.
3. Die Verminderung des Kieszusatzes unter eine gewisse Grenze ist unökonomisch. Die Festigkeit wird dadurch nur wenig vermehrt; hingegen nehmen die Herstellungskosten in grösserem Verhältniss zu. Als Beispiel hierzu dienen die auf den Mörtel 1 : 4 sich beziehenden Zahlen der Tabelle 1. Solcher Mörtel, zu Beton mit 8,5 Theilen Kies verarbeitet, liefert noch fast die gleiche Festigkeit wie der viel kostspieligere, mit nur 5 Theilen Kies bereitete.

Bei den Erweiterungsbauten des Kriegshafens bei Portsmouth (vergl. S. 73) wurden Zerdrückungs-Proben mit Würfeln von 15,24 cm Seite nach 6monatlicher Erhärtungsdauer angestellt. Der Beton hatte die Zusammensetzung 1 Th. Cement zu 10—12 Theilen Kies (gemischt mit Sand). Die Hohlräume in dem Kies betrugen 0,333—0,384, die Hohlräume in dem (aus dem Kiese abgesiebten) Sand 0,270—0,427. Darnach war die Zusammensetzung des Betons genauer:

1 Theil Cement, 4,16 Th. Sand und 7,80 Th. Kies.

Beim Zerdrücken der Würfel in der hydraulischen Presse ergaben sich folgende Resultate:

Die ersten Risse entstanden bei durchschn. 16733 kg = 72 kg/1 qcm
„ Zerstörung trat ein „ „ 20655 „ = 89 „ „

Als Grenzwerthe wurden gefunden:

Für den Eintritt der ersten Risse 59 bezw. 95 kg/1 qcm
„ die Zerstörung . . . . . 68 „ 112 „ „

Beim Bau des Wellenbrechers zu Colombo angestellte Zerdrückungs-Proben mit je 4 Würfeln von 7,5 cm Seite lieferten nach 3monatlicher Erhärtungsdauer der Würfel, während welcher dieselben feucht erhalten worden waren, nachstehende Ergebnisse:

Betonmischung			Raumtheile Geschlagene Steine von		Druckfestigkeit in kg	
Cement	Sand	Kies	88mm Korn	38mm Korn	insgesammt	für 1 qcm
1	—	—	—	—	21860	388
1	2 (grobkörnig)	—	—	—	11100	197
1	2 (feinkörnig)	—	—	—	7030	125
1	2	—	4	2	17288	307
1	2	6	—	—	9067	161
1	2	—	—	6	9067	161

Die Zahlen lassen insbesondere den günstigen Einfluss hervor treten, den das Vorkommen möglichst aller Korngrössen im Beton äussert (Reihe 4—6), und bestätigen, dass feinkörniger Sand, was die Festigkeit betrifft, sehr im Nachtheil gegen grobkörnigen ist. Sie zeigen ebenfalls, dass richtig zusammengesetzter Beton mindestens die gleichen, wenn nicht höhere Festigkeitszahlen als Cementmörtel liefert. Im allgemeinen sind die Festigkeitszahlen hoch gegen die vorhergehend mitgetheilten, in Portsmouth gefundenen. Ausser auf die fettere Mischung des Mörtels dürfte der Unterschied darauf zurückkommen, dass dort die Erhärtung im Trocknen, hier dagegen bei Feuchthaltung stattgefunden hatte.

Von Mank in Dresden sind mit Würfeln von 20 Seite Proben auf Druckfestigkeit angestellt, welche insofern Interesse bieten, als die Resultate den Einfluss erkennen lassen, welche das Material, die Bereitungs- und die Erhärtungsweise des Betons auf die Festigkeit desselben ausüben[1]). Der zu diesen Versuchen benutzte Cement war von hervorragender Qualität; der aus Flusskieseln hergestellte Steinschlag hatte aber viele rundliche Flächen; der Beton wurde nicht eingestampft; die Probestücke erhärteten nur 5 Stunden im Wasser und blieben dann 30 Tage lang in einem schattigen Raume der freien Luft ausgesetzt. Die Wirkung dieser — mangelhaften — Herstellungs- und Behandlungsweise der Probestücke wird an den nachstehenden Resultaten erkennbar, wenn man dieselben mit den oben mitgetheilten anderweiten Resultaten vergleicht[2]).

Mischungsverhältnis in Raumtheilen			Druckfestigkeit	Mischungsverhältnis in Raumtheilen			Druckfestigkeit
Cement	Sand	Steinschlag	kg/1 qcm	Cement	Sand	Steinschlag	kg/1 qcm
1	—	—	305	1	3	—	180
1	1	—	250	1	3	2	110
				1	3	3	100
1	2	—	225	1	3	4	65
1	2	2	145				
1	2	3	110	1	4	—	115
				1	4	3	60

[1]) Protokolle des Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 89. ordentliche Hauptversammlung; Dresden 1877.

[2]) Zum Vergleich mögen hier die Druckfestigkeits-Zahlen hinzugefügt werden, welche Neumann (Protokoll d. Sächs. Ingenieur- u. Archit.-Vereins, 79. Hauptversammlung, Dresden 1878)

Von weiteren Zerdrückungs-Versuchen mit verhältnissmässig grossen Würfeln sind nur in der Baugewerks-Zeitung 1887 (S. 1053) mitgetheilte bekannt geworden. Würfel von 30 cm Seite der Zusammensetzung 1 Th. Cement und 3 Theile Kies erlitten bei 115 kg/1 qcm keine andern Schäden als leichte Absplitterungen an den Kanten und wurden erst bei 134 kg/1 qcm zerstört. Im Vergleich zu der fetten Mischung des Mörtels erscheinen diese Zahlen als etwas gering. —

Gleich wie natürliche Steine zeigt auch Beton das Bestreben, nach stattgefundenen Formänderungen in die ursprüngliche Form zurückzukehren, d. h. die Eigenschaft der Elastizität. Bedingung ihres Eintritts ist, dass die Formänderung innerhalb der der besonderen Zusammensetzung des Betons entsprechenden Elastizitätsgrenze verblieben sei. Die durch die natürlichen Feuchtigkeits- und Temperaturwechsel sich ergebenden Formänderungen (betr. Zahlen s. S. 80, 81) verbleiben innerhalb der Elastizitätsgrenze, während Formänderungen, welche Folgen von künstlich erzeugten hohen Temperaturen oder von Belastungen sind, über jene Grenze hinausgehen können.

Darüber, wie hoch die Elastizitätsgrenze von Beton liegt, sind Beobachtungen noch sehr spärlich vorhanden. Aus einer Mittheilung über Probebelastungen von 4 m weit gespannten Betongewölben, welche im Jahrgang 1879, S. 358 der Deutschen Bauzeitung enthalten ist, könnte man die Elastizitätsgrenze gegen Druck bei 0,00185 (nahezu $^1/_{500}$) annehmen; d. h. es würde ein 100 mm langes Beton-Prisma, wenn dasselbe durch Belastung seine Länge um 0,185 mm verringerte, nach Fortnahme der Belastung wieder seine ursprüngliche Länge annehmen.

Die Eigenschaft der Elastizität des Betons ist von Bedeutung namentlich bei dessen Verwendung zu Brückenbögen von einiger Spannweite, deren Scheitel sich beim Wechsel der Belastung hebt und senkt. Auf solche Betonbögen kann (nach Engesser, s. D. Bauztg. 1881, S. 581) die Elastizitäts-Theorie der Bogenträger angewendet werden, gleichwie auf eiserne Träger und Mauerbögen. Es ist indessen bei den Betonbögen die nur geringe Grösse der Zugfestigkeit des Cements gegenüber der Druckfestigkeit zu beobachten und, um vorsichtig zu verfahren, der Zugfestigkeitskoëffizient des Betons nicht höher als zu etwa Einviertel der Normenfestigkeit des Cements anzunehmen. Die Druckfestigkeit kann man 8 bis 9mal so hoch als die Zugfestigkeit rechnen.

Festigkeits-Versuche auf Biegung wurden nach einer Mittheilung in der Baugewerks-Zeitung 1889 (S. 433) mit Treppenstufen aus Cementmörtel, 1 Theil Cement und 4 Theile Sand, hergestellt. Die Stufen hatten 17,5—18,5 cm Höhe, 30—33 cm Breite; sie wurden bei 1,50 m Freilage von einer in der Mitte aufgelegten Last von 702 kg zerbrochen.

Da eine ganz ähnliche Stufe aus Porphyr 18,5 cm hoch, 33 cm breit 1,85 cm lang mit dem Querschnitt von 383 qcm und dem Gewicht von 126 kg bei der in der Mitte aufgelegten Last von 570 kg, d. h. bei einer Bean-

---

bei ausgedehnten Versuchen mit sächsischen Elbsandsteinen fand, indem er Würfel von 5—12 cm Kantenlänge zerdrückte. Er fand für verschiedene Sorten dieser Sandsteine folgende Zahlen:

2	Sorten	120	kg/1 qcm	4	Sorten	200	kg/1 qcm.
1	„	140	„	5	„	240	„
1	„	150	„	1	„	250	„
1	„	170	„	1	„	300	„
2	„	180	„				

spruchung auf Biegungsfestigkeit von etwa 24 kg brach, würde sich hieraus der Schluss ergeben, dass Treppenstufen aus Beton, mit Bezug auf ihre Tragkraft solchen aus Prophyr und Natursteinen ähnlicher Festigkeit nicht nachstehen.

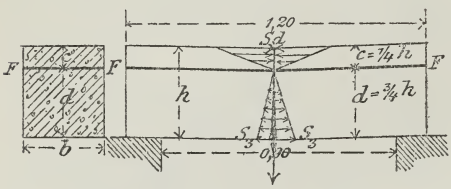
Hutton stellte beim Bau des Amsterdamer Seekanals Versuche mit Blöcken von 1,20 m Länge, 30 cm Breite und 30 cm Höhe an, welche $3^1/_2$ bis 4 Monate lang an der Luft erhärtet waren. Die Prüfung geschah in gleicher Weise wie bei den Treppenstufen, indem man die Blöcke mit 90 cm Abstand der Stützpunkte frei auflegte und in der Mitte Gewichte an denselben bis zum Bruch aufhängte.

Die dabei aufgetretenen grössten Druck- und Zugspannungen, die Kantenspannungen Z und D, lassen sich nur auf Grund bestimmter Annahmen über das Verhältniss $Z:D$ berechnen. Wenn, den Verhältnissen der Wirklichkeit meist entspechend, gesetzt wird:

$$D = 9\,Z \text{ oder: } Z = \frac{1}{9} D.$$

so bestimmt sich, Abb. 20, die Lage der sogen. neutralen Axe F F — in welcher der Wechsel zwischen Druck- und Zugspannung sich vollzieht — aus der Bedingung:

Abb. 20.



$$D c^2 = Z d^2,$$

oder, nach Einsetzung des obigen Werthes für Z:

$$D c^2 = \frac{1}{9} D d^2 \text{ oder } d^2 = 9 c^2$$

woraus:

$$d = 3c.$$

Darnach liegt — unter der obigen Voraussetzung über das Verhältniss zwischen Z und D — die neutrale Axe um $^1/_4$ der Höhe von der Oberkante oder um $^3/_4$ von der Unterkante eines balkenförmigen Betonblocks entfernt.

Wenn nun T_d und bezw. T_s die auf die neutrale Axe bezogenen Trägheitsmomente der bezw. über und unter dieser Axe liegenden Querschnittsflächentheile des Blocks bezeichnen und M das Biegungsmoment ist, welchem der Block durch Einwirknng äusserer Kräfte unterworfen wird, so berechnen sich die Kantenspannungen D und Z aus den Gleichungen:

$$D = \frac{c}{T_d} M \text{ und } Z = \frac{d}{T_s} M$$

oder mit Einsetzung der Werthe von T_d und T_s:

$$D = \frac{c}{\frac{b c^3}{3}} M = \frac{3M}{b c^2} = \frac{3M}{\frac{b h^2}{16}} = \frac{48 M}{b h^2} \text{ und:}$$

$$Z = \frac{d}{\frac{b d^3}{3}} M = \frac{3M}{b d^2} = \frac{3M}{\frac{b 9 h^2}{16}} = \frac{48 M}{9 b h^2}.$$

Hieraus ergaben sich, unter Einsetzung der aus den Bruch- und Eigengewichten zu berechnenden Biegungsmomente M, die in der folgenden Tabelle eingeschriebenen Werthe der bei den Hutton'schen Versuchen stattgefundenen Kantenspannungen:

Lfd. No.	Mischungsverhältnisse Raumtheile			Bruchgewicht in der Mitte aufgehängt	Kantenspannung	
					oben Druck	unten Zug
	Cement	Seesand	Geschiebe	kg.	kg. pro qcm.	
1	1	4	5	1205	52,4	5,81
2	1	3	6	1918	44,9	5,00
3	1	3	5	1370	58,9	6,54
4	1	2	7	1532	65,7	7,30
5	1	2	5	2215	93,2	10,35
6	1	1	8	1948	82,4	9,15
7	1	1	5	3490	144,8	15,00
8	1	—	9	1948	81,8	9,10
9	1	—	5	4350	179,2	19,90

Wenn man die Ergebnisse der Proben No. 1, 3, 5, 7 und 9, in denen der Geschiebe-Antheil derselbe ist, während der Sandantheil von 4 auf 0 abnimmt, mit einander vergleicht, so zeigt sich folgende ziemlich regelmässige Zunahme der Festigkeiten, nämlich:

No. 1. 52,4 kg
„ 3. 58,9 „
„ 5. 93,2 „
„ 7. 144,8 „
„ 9. 179,2 „
} Druckfestigkeit.

Vergleicht man die Ergebnisse der Proben No. 1, 2, 4, 6 und 8, bei denen der Geschiebe-Antheil in demselben Verhältnisse zunimmt, in welchem der Sandantheil abnimmt (von 5 auf 9 bezw. 4 auf 0, mithin auf 1 Theil Cement konstant 9 Theile Sand und Geschiebe kommen), so ergiebt sich — jedoch weniger regelmässig wie vor — nur ein sehr mässiges Anwachsen der Festigkeit, nämlich:

No. 1. 52,4 kg
„ 2. 44,9 „
„ 4. 65,7 „
„ 6. 82,4 „
„ 8. 81,8 „
} Druckfestigkeit.

Aus dem Vergleich der beiden Zahlengruppen folgt, dass innerhalb gewisser Grenzen der Ersatz von Stein durch Sand die Festigkeit vergrössert, eine Schlussfolgerung, die in sich begründet ist, wenn man beachtet, dass der Sandzusatz die Homogenität der Masse befördert, insbesondere die Hohlräume vermindert. Derselbe Schluss ist auch schon S. 91 und noch anderweit gezogen worden und Genaueres zur Sache findet sich auf S. 111 angegeben.

Die Festigkeitszahlen der Proben No. 6 stehen mit denen der Proben No. 8 u. 9 in einem gewissen Widerspruch, insofern als die Ergebnisse zu 8 und 9 vergleichsweise zu hoch erscheinen. Dieser Widerspruch wird durch die auch in der Quelle[1]) angeführte Thatsache aufgeklärt, dass die Geschiebe einen gewissen Sandantheil enthielten, wenn freilich auch nicht gross genug, damit die Blöcke dicht wurden.

Im übrigen erscheinen die von Hutton gefundenen Festigkeitszahlen,

[1]) Scott and Radgrave, Bernays and Grant, On Portland-Cement. Exc. Min. of Proceedings of the Institution of Civil-Engineers; London 1880.

wenn man dieselben mit den auf S. 90—92 mitgetheilten anderweiten vergleicht, niedrig. Der wesenstlichste Grund dafür ist wahrscheinlich in der Beschaffenheit des Sandes (Dünensand) zu sehen, dessen Formen klein, rundlich und dessen Korn von sehr gleichmässiger Grösse war.

Ganz änliche Kantenspannungs-Zahlen, als die von Hutton erreichten wurden beim Hafenbau von Colombo von Keyle bei Versuchen mit Blöcken gleicher Grösse und Form wie die von Ersterem geprobten gefunden. Bei den Keyle'schen Versuchen wurde die Belastung aber nicht an den Blöcken aufgehängt, sondern man liess, unter Benutzung eines 15 cm breiten Brettstücks den Stempel einer hydraulischen Presse auf die Mitte der wie vor in 90 cm Abstand unterstützten Blöcke wirken. Es ist wahrscheinlich, dass durch die Benutzung des Zwischenstücks sich eine Vertheilung des Drucks auf eine gewisse Länge ergab, welche ihrerseits wiederum eine gewisse Erhöhung der Bruchfestigkeit herbei führte.

Lfd. No.	Mischungsverhältniss; Raumtheile					Bruch-last	Kanntenspannung	
	Cement	Sand	Kies	Steinschlag 38 mm Korn	Steinschlag 88 mm Korn	kg	Druck kg pro qcm	Zug kg pro qcm
1.	1	2(grob)	—	—	—	7881	322,0	35,77
2.	1	2 (fein)	—	—	—	5762	236,5	26,28
3,	1	2	—	2	4	2699	111,7	12,41
4.	1	2	6	—	—	2373	99,8	11,10
5.	1	2	—	6	—	2076	87,8	9,75

Die Proben No. 1 und 2 lassen zunächst den grossen Einfluss hervor treten, welchen die Korngrösse des Sandes ausübt, daneben aber auch, dass es sich um einen Cement von sehr hoher Qualität handelte. Dieser hohen Qualität entsprechen die beim Beton erlangten Festigkeitszahlen (welche sich mit den von Hutton gefundenen etwa decken) nicht, was zum Theil vielleicht auf die Sandbeschaffenheit, zu einem anderen auf die Bereitungsweise des Betons zurückkommt; indessen sind hierüber Angaben in unserer Quelle[1]) nicht mitgetheilt.

Die Proben No. 3 und 4 verglichen mit der Probe No. 5 lassen — wenn auch nicht gerade markant — den günstigen Einfluss hervor treten, den das Vorkommen verschiedener Korngrössen auf die Festigkeit ausübt.

Wenn das Verhältniss der Länge eines balkenförmigen Probestücks zu dessen Querschnitt — speziell zu dessen Höhe unter eine gewisse Grenze sinkt, so wird bei Probebelastungen wie den von Hutton und Keyle angestellten keine Zerstörung des Probekörpers durch Biegung erfolgen, sondern es wird dasselbe durch die sogen. Abscherung zerstört werden und wird der Quotient $\frac{\text{Bruchlast}}{\text{Querschnitt}}$ als Scherfestigkeit des Probestücks bezeichnet. Durch theoretische Betrachtungen hat man für die Scherfestigkeit den Werth:

$$S = \sqrt{D\,Z}$$

worin D die Druck- und Z die Zugfestigkeit bezeichnen, abgeleitet. Die nach dieser Formel ermittelten Werthe stimmen aber mit den durch direkte, an einzelnen wenigen Materialien ermittelten Zahlen nicht gut überein, so dass

[1]) Concrete as applied in the Construction of Harbours. Exc. Min. of Proceedings of the Inst. of Civil-Engineers; London 1886.

Scherfestigkeit der Materialien vielfach grosse Zweifel bestehen; diese Ungewissheit, welche auch für Cement vorhanden ist, muss durch Annahme besonders hoher Sicherheitskoeffizienten (für Steine = 30) Rechnung getragen werden.

Relativ ausgedehnte Versuche über Scherfestigkeit von Cementmörtel sind von Prof. Bauschinger im Mechanisch-Technischen Laboratorium der Technischen Hochschule in München ausgeführt worden. Eine bezügliche Veröffentlichung, die sich auf 10 Cementmarken erstreckte, liegt darüber in den „Mittheilungen aus dem Mechan.-Techn. Laboratorium" (München, Th. Ackermann, H. 8, 1879) vor.

Die Versuche, bei denen theils frische, theils abgelagerte Cemente benutzt wurden, erstreckten sich auf Zug-, Druck-, Biegungs- und Scherfestigkeit, wurden im übrigen nach Grundsätzen ausgeführt, welche von Prof. Bauschinger selbst aufgestellt waren; die Zug- und Scherfestigkeits-Probekörper hatten 72 qcm, die Druckprobekörper 144 qcm Querschnitt. Ist sonach ein Vergleich mit Zahlen, welche bei der Normenprüfung erlangt sind, auch ausgeschlossen, so steht doch nichts im Wege Vergleiche der Zahlen „unter sich" anzustellen. Unter diesem Vorbehalt wird hier folgendes Weitere über jene Bauschinger'schen Versuche mitgetheilt:

Wenn man sich auf die an „frischer" Waare (Tab. II, III und V a. a. O.) erlangten Resultate beschränkt und von den untersuchten Cementen eine Marke (B) weil dieselbe durchgehends ein auffälliges Verhalten zeigt, ausschliesst, so dass 9 Marken verbleiben, so findet man bei Berechnung des Verhältnisses von Scherfestigkeit S zu Zugfestigkeit Z und bezw. Druckfestigkeit D folgende Zahlen:

Verhältniss	Erhärtungs-Dauer Wochen	Mörtelmischung. 1:0		1:3		1:5	
		Erhärtung an Luft	Wasser	Luft	Wasser	Luft	Wasser
S:Z	1	1,25	1,27	1,23	1,30	1,25	1,29
	4	1.24	1,25	1,16	1,26	1,21	1,30
	104—113	1,55	1,47	1,23	1,39	1,42	1,56
S:D	1	0,16	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15
	4	0,13	0,14	0,13	0,13	0,15	0,14
	104—114	0,12	0,09	0,14	0,11	0,17	0,12

In diesen Zahlen herrscht eine ausreichende Regelmässigkeit um ein paar Schlussfolgerungen zu gestatten:

a. Die Scherfestigkeit scheint denselben Gesetzen zu folgen wie Zug- und Druckfestigkeit; am nächsten schliesst sie sich jedoch der Zugfestigkeit an.

Während aber mit zunehmender Dauer das Verhältniss S:Z grösser wird, scheint hinsichtlich des Verhältnisses S:D das Umgekehrte stattzufinden. Nach Inhalt der Original-Tabellen erklärt sich das aus dem Umstande, dass mit zunehmendem Alter die Druckfestigkeit in höherem Maasse wächst als die Scherfestigkeit.

b. Die Scherfestigkeit kann $1^1/_5$—$1^1/_4$ mal grösser angenommen werden als die Zugfestigkeit, doch nur = $^1/_{10}$—$^1/_7$ der Druckfestigkeit.

Geht man auf die Zahlen der Original-Tabellen ein, so ergeben diese:

1. Dass bei ungemagertem Mörtel die Scherfestigkeit in 2 Jahren auf etwa das $1^1/_2$ fache, dagegen bei Sandproben (1 : 3 sowohl als 1 : 5) auf das 3 fache der 7 Tages-Festigkeit wächst.

2. Dass die Art der Erhärtung im Anfang keinen erheblichen Einfluss auf die Scherfestigkeit äussert und dass der günstige Einfluss von Wassererhärtung erst langsam hervor tritt.

3. Das Fortschreiten der Scherfestigkeit erfolgt nur langsam; es findet in den ersten 4 Wochen ein viel geringeres Anwachsen statt, als in dem später folgenden, bis zu 2 Jahren erstreckten Zeitraum. Dieser langsame Fortschritt nöthigt dazu, mit relativ hohen Sicherheitskoeffizienten zu rechnen, bezw. auch bei Ausrüstungen von Betonbauten, in welchen die Scherfestigkeit in Anspruch genommen wird, mit grosser Vorsicht zu verfahren.

Es braucht kaum hinzugefügt zu werden, dass es sehr erwünscht ist, dass durch weitere Versuche noch mehr Klarheit über die Scherfestigkeit von Beton geschaffen wird, weil Fälle, dass Baukonstruktionen auf Scherfestigkeit beansprucht werden, häufig sind. —

Das Gewicht von Beton, dessen genauere Kenntniss für manche Zwecke nothwendig ist, kann aus der Zusammensetzung desselben angenähert berechnet werden, indem man die Gewichte der zu 1 cbm erforderlichen Materialien einzeln bestimmt und summirt.

Die Einheitsgewichte von Kies und Schotter aus Naturstein werden sich nicht erheblich unterscheiden, indem dem etwaigen Minder an spezif. Gewicht des Kieses, die Mehrgrösse des Hohlraumes im Schotter gegenüber steht. Das Gewicht von 1 cbm Schotter oder Kies ist auf 1200 bis 1300 kg anzunehmen. Das Mörtelgewicht beträgt bei der Annahme von 0,350 Hohlraum und der Mörtelmischung 1 : 3 (vergl. die Angaben S. 64)

für Cement $0{,}350 \cdot 467 = 163$ kg
„ Sand $0{,}350 \cdot 1000 \cdot 1400 = 490$ „
„ Wasser $0{,}350 \cdot 327 = 130$ „
} 783 kg

Hiernach würde sich das Gewicht von 1 cbm Beton zu 2000—2300 kg ergeben. Bei nicht dichtem Beton kann dasselbe unter 2000 kg herab gehen.

Bei Beton zu Deckenfüllungen, für welchen geringes Eigengewicht die Hauptsache ist, hat man wohl Kohlenschlacke, vereinzelt auch Koke anstatt Kies und Schotter verwendet. Bei derartig zusammengesetztem Beton kann, wenn die Mischung auch noch mager angemacht wird, das Gewicht von 1 cbm bis auf 1000 kg herabgezogen werden.

Nachträglich zu dem vorstehenden Abschnitte ist anzuführen, dass Prüfungsergebnisse aller Art zahlreich ausser in den bisher angegebenen Quellen veröffentlicht sind insbesondere in:

Mittheilungen aus den Königlichen Technischen Versuchsanstalten zu Berlin. Herausgegeben im Auftrage der Aufsichts-Kommission; Berlin, Springer. (Die Mittheilungen erscheinen seit 1883.)

Bauschinger, Mittheilungen aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium der K. Polytechnischen Schule in München, München, Ackermann u. zw. Heft 1 (1873), Heft 8 (1879), Heft 11 (1884), Heft 14 (1888), Heft 18 (1889).

Meister, Locher, Koch und Tetmajer. Die Baumaterialien der Schweiz an der Landes-Ausstellung 1883. Zürich 1884; Cäsar Schmidt.

VIII. Allgemeines über Eignung des Betons für Bauzwecke.

Vermöge der Unregelmässigkeit, welche in der Vertheilung des Mörtels in der Betonmasse stattfindet, wird der Mörtelantheil im Beton im allgemeinen etwas höher als in Mauerwerk sein. Doch hängt der Bedarf an Mörtel sehr von dem Grade der Sorgfalt bei der Betonbereitung ab, abgesehen davon, dass sie dem speziellen Zwecke dem der Beton dienen soll, angepasst sein muss. Art und Mischung der Materialien müssen diesem Zwecke gleichfalls entsprechen.

Wenn im Beton Materialien möglichst aller Korngrössen vorhanden sind und dieselben sorgfältig gemischt werden, so dass die Hohlräume auf diejenige Grösse beschränkt sind, bei welcher nur eine dünne Umhüllung aller Körner stattfindet, jedoch eine unmittelbare Berührung derselben untereinander verhindert ist, so ist der Mörtelbedarf am kleinsten; umgekehrt nimmt derselbe mit der Grösse der Hohlräume zu.

Beton für manche Gebrauchszwecke braucht nicht gerade sehr dicht zu sein, während an Beton für zahlreiche besondere Zwecke die Forderung der Wasserdichtigkeit gestellt wird. Der magere (poröse) Beton bedarf weniger Mörtel als der wasserdichte Beton; desgleichen muss bei letzterem der Antheil von Cement grösser als bei ersterem sein.

Unter den verschiedenen Mauerwerks-Arten bedarf Bruchstein-Mauerwerk die grössten, Quader-Mauerwerk die kleinsten Mörtelmengen; Ziegel-Mauerwerk nimmt hinsichtlich der Mörtelmenge eine mittlere Stellung ein. Im Quadermauerwerk erreicht die Mörtelmenge, je nach der Vollkommenheit der Steinbearbeitung, 8—12 Prozent, im Ziegelmauerwerk desgl. 24—36 Prozent, im Bruchsteinmauerwerk desgl. 30—45 Prozent. Beim Beton kann durch Sorgfalt bei der Zusammensetzung der Materialien der Mörtelantheil auf etwa 35 Prozent herabgezogen werden, und noch weiter, wenn man — dem Gebrauche der Engländer folgend — in die Betonmasse nachträglich grössere Steinstücke einpackt. Andererseits kann bei sogen. fetten Mischungen der Mörtelantheil im Beton sich auf etwa 50 Prozent erhöhen.

Darnach ersieht sich, dass in dem, in sorgfältiger Weise zusammengesetzten Beton gewöhnlicher Art der Mörtelantheil im Durchschnitt genommen, nicht grösser ist als bei Mauerwerk aus Bruchstein, und selbst nicht wesentlich grösser als bei Ziegelmauerwerk, sofern zu diesem nicht etwa Steine von besonderes Formvollendung verwendet werden. Da nun die Vertheilung des Mörtel, in dem sorgfältig bereiteten Beton jedenfalls eine gleichmässigere ist als in dem Mauerwerk, so ist klar, dass, insoweit als die Haltbarket von Mauerwerk und von Beton auf den Mörtelantheilen beruht, die Haltbarkeit von Beton weder dem des Bruchstein-, noch dem des Ziegel-Mauerwerks nachstehen, beide vielmehr übertreffen kann. Diese Ansicht findet in den sowohl im vorhergehenden Abschnitt als anderweit im Buche mitgetheilten Festigkeits-Zahlen vielfache Bestätigung. Da auch die

sonstigen für Bauzwecke in Frage kommenden Eigenschaften des Betons, wie insbesondere seine Volumen-Veränderungen bei Wärme- und Feuchtigkeits-Wechseln, und seine Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen, wie nachgewiesen worden, günstiger sind als bei Steinmaterial[1]), so darf mit Bezug hierauf von einer Ueberlegenheit des Betons gegenüber gewöhnlichem Mauerwerk gesprochen werden.

Diese Ueberlegenheit, verbunden mit der Wasserdichtigkeit, der Leichtigkeit, mit welcher Beton sich in beinahe alle möglichen Formen bringen lässt, endlich der Umstand, dass die Kosten von Beton oft hinter denjenigen von Mauerwerk zurückbleiben werden, haben dem Beton in der kurzen Dauer von etwa 30 Jahren, während welcher derselbe in der Neuzeit in regelmässiger Weise wieder benutzt wird, ein Anwendungsgebiet erschlossen, welches von Jahr zu Jahr an Ausdehnung zunimmt.

Unter den Anwendungen sind einige, bei denen der Betonbau, kaum durch eine andere Bauweise ersetzt werden kann, während bei der Mehrzahl die Wahl mehr oder weniger frei steht.

Unersetzbar ist der Beton- (Block-) Bau, wie schon S. 74 dargelegt wurde, bei Bauten an offener Seeküste, da, wo aussergewöhnliche Heftigkeit des Wellenschlags herrscht.

Nicht gut ersetzbar ist Beton-Schüttung bei manchen Gründungen unter Wasser, wenn Trockenlegung der Baugrube unmöglich und der Baugrund fest ist. Desgleichen zur Abhaltung von Quell- oder Grundwasser in trocken gelegter Baugrube, bezw. zur Herstellung von Fangedämmen, mittels welcher Baugruben vor Ueberfluthungen gesichert werden.

Eine andere Ausführungsweise als in Beton, sei es in der Form von Schüttungen, sei es in der Form des Blockbaues, bleibt auch vielfach dann nicht übrig, wenn es sich um die Anlage von Molen, Hafendämmen oder Wellenbrechern an offener Küste handelt und diese Werke ohne das besondere Schutzmittel eines Fangedammes hergestellt werden müssen.

Wo der Beton in Wettbewerb mit anderen Ausführungsweisen tritt können die Gründe, welche zu seinen Gunsten den Ausschlag geben, vielfacher Art sein. Es kann sich dabei sowohl um den Kostenpunkt, als um die Zeitdauer, als um die Oertlichkeit, als endlich um die besondere Eignung, welche der Betonbau für einen bestimmten Zweck besitzt, handeln.

Was den Kostenpunkt betrifft, so ist z. B. an Gründungen auf weichem Boden zu denken, wo die Betonschüttung, je nach der besonderen Lage des Falles, sowohl mit Schwellrost- als Pfahlrost-Gründung, unter Umständen auch mit Anlage verbreiterter Mauerfundamente in Wettbewerb treten kann. Ob hierbei der Betonbau als der am meisten ökonomische erscheint, wird sich wesentlich nach den Preisen der zu Gebote stehenden Hauptmaterialien richten. Selbst wenn aber nur Kies, Geschiebe, Steinschlagmaterialien einigermassen nahe zur Stelle sind, wird der Betonbau meist billiger ausfallen als eine andere Bauweise.

Hinsichtlich der Zeitdauer wird Betonbau meist erfolgreich mit Ausführung in Mauerwerk konkurriren können. Es liegt das schon in der relativ „künstlichen“ Herstellungsweise von Mauerwerk begründet, welche nur unter Benutzung sogen. „gelernter“ Handwerker möglich ist. Dieselben stehen in viel geringerer Zahl als gewöhnliche Arbeiter zur Verfügung, machen höhere Ansprüche an Lohn, Arbeitsdauer, Behandlung u. s. w. und

1) Es ist bekannt, dass Kalksteine (Marmor) unter Einwirkung selbst geringer Hitze zersprengt werden und auch Granit, sowie Sandstein mit kalkigem Bindemittel nur wenig widerstandsfähig gegen Hitzewirkungen sind.

sind weniger leicht als diese ersetzbar. Aus diesen und noch anderen Umständen folgt mit Nothwendigkeit, dass die Tagesleistung eines Maurers, in Kubikmetern Mauerwerk ausgedrückt, hinter derjenigen eines gewöhnlichen Arbeiters, in Kubikmetern Beton ausgedrückt, zurückbleiben muss, auch wenn man vorübergehende Störungen der Arbeit, z. B. durch Regenfälle — die bei Ausführung von Mauerwerk viel häufiger eintreten, als bei Herstellung von Beton — ausser Betracht lässt. Einiges Genauere hierzu folgt an späterer Stelle. Im übrigen ist noch hinzu zu fügen, dass in der Eigenschaft der raschen Erhärtung des Betons ebenfalls ein Moment gegeben ist, durch welches der Betonbau mit Bezug auf Zeitdauer vor Mauerwerk sich im Vorzuge befindet. —

Der Einfluss der Oertlichkeit ist zum Theil schon bei dem des Kostenpunktes und der Zeitdauer mit berührt. Es bleibt ergänzend hinzu zu fügen, dass man beim Betonbau, u. z. in fast jeder seiner besonderen Ausführungsweisen, oft in ausgiebigem Maasse von Maschinenarbeit Gebrauch machen kann und daneben nur Bedarf an gewöhnlicher Handarbeit hat. Darnach wird sich die Wahl fast überall da auf Betonbau lenken, wo die Beschaffung und Unterbringung von Arbeitern, und namentlich von „gelernten“ Bauhandwerkern, mit Schwierigkeiten verbunden ist. Dies trifft überall bei Baustellen mit abgelegener Lage zu, kann übrigens nicht allein hier, sondern auch anderweit stattfinden.

Oertlicher sowohl, als zeitlicher Natur ist der, durchgehends für Betonbau sprechende Grund, dass die Beschaffung und Lagerung der Rohmaterialien weniger umständlich als die der Materialien für Mauerwerk sein wird. Da man beim Betonbau weniger abhängig von den Leistungen der Steinbrüche oder Ziegeleien ist, bedarf man weniger ausgedehnte Lagerräume und kann sich auch mit geringern Anforderungen an die Beschaffenheit derselben begnügen, insofern als die Rohmaterialien des Betonbaues des Schutzes vor Witterungsunbilden und gegen Entwendungen oder Muthwillen nicht bedürfen werden, während bei den Materialien des Ziegelbaues Schutzvorkehrungen selten entbehrlich sind. —

Eine besondere Eignung kann, abgesehen von schon oben berührten Fällen, der Beton zu gewissen Zwecken, z. B. vermöge seiner Wasserdichtigkeit, seiner leichten Formungsfähigkeit, der Raschheit seines Abbindens wegen, sowie ferner wegen der Möglichkeit seine Mischungsverhältnisse und die zu gebenden Abmessungen dem Zwecke des Werks möglichst eng anzupassen, besitzen. Alle genannten Eigenschaften gelangen zur Geltung z. B. bei Wasser-Reservoiren und Gasbehälter-Bassins, bei welchen Bauwerken, dem entsprechend, der Beton in neuerer Zeit auch ganz besonders häufig zur Anwendung gebracht worden ist.

Gute Eignung besitzt der Beton ferner zu Gründungen für Hochbauzwecke, wenn der Baugrund mangelhaft und die Belastung desselben — wie fast immer der Fall sein wird — sich ungleichmässig auf die Fundamentsohle vertheilt. Eine verhältnissmässig schwache Lage von Beton wird hier zur Druckvertheilung ausreichend sein und ausserdem noch die beiden Vortheile gewähren: 1. Trockenheit der Baugrube wie des Gebäudes bei quelligem Untergrunde zu sichern und 2. Ausdünstungen des Untergrundes von dem Gebäude fern zu halten, die den Gesundheitszustand der Bewohner desselben ungünstig beeinflussen könnten. Verglichen mit Pfahlrost-, Schwellrost- und Brunnen-Gründung gewährt die Gründung eines Hochbaues auf einer Betonlage noch die Vorzüge, dass: 1. das der Gefahr der Zerstörung früher oder später anheim fallende Holz, und folglich auch die Gefahr des nachträglichen Setzens des Gebäudes, vermieden ist, und

dass: 2. die Disposition über die Stellung der Mauern, über Veränderung in der Theilung des Grundrisses für immer frei bleibt, während durch die drei obengenannten anderweiten Gründungsarten hierüber unabänderlich bestimmt ist; selbst kleine Abweichungen und Ungenauigkeiten bei den Ausführungen können besondere Schwierigkeiten mit sich bringen, nicht zu gedenken, nachträglicher Aenderungen der Grundriss-Eintheilung.

Etwas Aehnliches gilt für Kaimauern- und Molenbauten; auch bei diesen wird die Vermeidung von Holz im Grunde immer erwünscht sein und es entspricht dieser Erwägung auch, dass in neuerer Zeit bei Anwendung von Pfahlrost unter solchen Bauwerken kein (zusammendrückbarer) Bohlenbelag, sondern eine Betonschüttung zwischen und über den Köpfen der Rostpfähle angewendet zu werden pflegt.

Vorzügliche Eignung besitzt der Beton für Treppen- und Deckenkonstruktionen. Die Hauptgründe dafür sind schon auf S. 10 des Buches angegeben worden; es können derselben hier noch ein paar weitere, erst im letzten Jahrzehnt zu einer gewissen Geltung gelangte, hinzugefügt werden. Es ist durch genaue Untersuchungen festgestellt worden, dass das Füllmaterial der gewöhnlichen Holzbalken-Decken — auch Fehlhoden genannt — häufig von vorn herein Stoffe enthält, welche (wie Alkalien) als Nährmittel von Mikroben dienen, häufig — vermöge Undichtigkeiten der hölzernen Fussböden — auch beim Gebrauch der Wohnungen nachträglich organische Stoffe aufnimmt, welche, begünstigt durch Wärme, in Fäulniss übergehen. Vermöge dieser Umstände können Zwischendecken fruchtbare Herde für Erzeugung und Ausdehnung von mikroskopischen Leben und demzufolge auch von infektiösen Krankheiten werden; es sollen die Zwischendecken namentlich zur Verbreitung der Tuberkulose dienen können. — Die abgeschlossene Lage der Holzbalken und Fussboden-Lagerhölzer in Zwischendecken macht dieselben empfänglich insbesondere für eine Holzkrankheit, welche in der neuern Zeit an Ausbreitung erheblich zu gewinnen scheint, den Hausschwamm. Indem die, die Ausbreitung desselben begünstigenden Ursachen aus mehrfachen Gründen — wie z. B. verkürzte Bauzeit, kurze Lagerzeit des Holzes vor dem Verbauen, Schlagen der Stämme in der Saftzeit und im jugendlichen Alter überhaupt, frühes Beziehen der Wohnungen usw. — in der Neuzeit immer mehr zunehmen, ist gegen die Gefahr der Entstehung des Hausschwamms kaum auf andere Weise vermehrte Sicherheit zu schaffen als indem man die Verwendung des Holzes in Hochbauten möglichst einschränkt. In Wohnhäusern ist dieses Streben um so mehr angezeigt, als eine Wohnung, in welcher der Hausschwamm aufgetreten ist, entschieden ungesund ist, allein schon durch die Vermehrung der Feuchtigkeit, welche derselbe erzeugt, und abgesehen ganz von der noch nicht gelösten Frage, ob der Hausschwamm giftig sei oder ob er etwa spezifische Krankheiten der Hausbewohner hervor rufen könne?

Auch Erwägungen solcher Art sind es gewesen, die den massiven Decken — unter denen die Betondecken die zweckmässigsten sind — neuerdings auch in dem feineren Wohnhausbau Eingang und eine immer weiter gehende Ausbreitung verschafft haben, insbesondere seitdem man gelernt hat, die Aussenseiten der Betondecken hinsichtlich ihrer ästhetischen Ausgestaltung mit den Anforderungen des verfeinerten Geschmacks in Einklang zu bringen. Besondere Erleichterungen gewährt dabei die Verwendung des Betons in der Bauweise von Monier, weil in dieser Wölb- und ebene Formen, sowie Voluten und Profilirungen jeglicher Art, mit Unterschneidungen, Verkröpfungen usw. in denkbarster Leichtigkeit herstellbar

sind, und, im Gegensatz zu gewöhnlichen Stuckverzierungen, vollkommene Sicherheit, was ihre Befestigung und ihre Dauer anbetrifft, gewähren.

Besonders mit der Absicht der Raumersparniss, zuweilen auch mit dem anderweiten Zweck, sich nicht für immer an dieselbe, gleich bleibende Eintheilung eines Raumes zu binden, vielmehr die Möglichkeit zu behalten, die Stellung der Trennungswände einem vorausgesetzten späteren Wechsel des Bedürfnisses leicht anpassen zu können, hat man neuerdings auch Beton-Wände in der Ausführungsweise der Monier-Konstruktion hergestellt. Es sind Lagerhäuser, Werkstättengebäude und Gebäude für ähnliche Zwecke entstanden, in denen vorerst nur die horizontalen Decken-Theilungen hergestellt wurden, während die vertikalen Theilungen, die Wände, zunächst fortblieben. Man fügt dieselben — nach Monier- oder Rabitz-Bauweise — erst später nach Maassgabe der Vermiethungen, der Grösse und der Zweckbestimmung der Räume ein und kann mit solcher Theilung mit Leichtigkeit jedwedem Bedürfniss, wie sehr dasselbe auch wechseln möge, folgen, da bei der Tragfähigkeit, welche namentlich die Monier-Wand „in sich" besitzt, für dieselbe eine Unterstützung, wie sie bei gemauerten Wänden nöthig ist, entbehrt werden kann. — Wo es auf Wärmeschutz oder Schalldichtheit ankommt, muss eine doppelte Wand angewendet werden.

Endlich bildet — nach der Bauweise Moniers benutzt — Zement auch in manchen Fällen einen gut geeigneten Ersatz für Eisen, bei Dachkonstruktionen, namentlich solchen mit Kuppelform. Es lassen sich sowohl Kuppeln als tonnenförmige Dächer ohne Binder mit Leichtigkeit selbst für grosse Spannweiten herstellen und äusserlich wie gewöhnliche Eisendächer mit einer Metallhaut (Kupfer, Zink) verkleiden; betr. Beispiele folgen weiterhin. Eine gewisse Kostspieligkeit, welche die Verkleidung mit sich bringt, kann durch den grösseren Wärmeschutz, den ein solches Dach im Vergleich zu dem gewöhnlichen — ungeschalten — Metalldach gewährt, aufgewogen werden.

Die Herstellung schiefer Brücken oder auch solcher, die in Kurven liegen, kann mit Bezug auf den Fugenschnitt, sowie die Konstruktion der Lehrgerüste, ferner im Ausrüstungs-Verfahren besondere technische Schwierigkeiten in dem Falle mit sich bringen, dass der Bau in Werkstein auszuführen ist; auch bei Ausführung in Ziegelbau kommen solche Schwierigkeiten in verringertem Maasse vor. Diese Schwierigkeiten sind es, wie man annehmen darf, insbesondere gewesen, welche dem Beton das Gebiet des Brückenbaues erschlossen haben, da bei seiner Anwendung sie alle in Fortfall kommen. Seit aber vor etwa 15 Jahren in Deutschland die ersten Fälle der Ausführungen von Brücken in Betonbau bekannt geworden, sind solche Brücken in immer steigender Zahl und in immer kühner gewordenen Verhältnissen erbaut worden, und es darf nach den sehr günstigen Erfolgen, welche dabei, was Solidität, Kosten und Kürze der Bauzeit betrifft, ezielt worden sind, erwartet werden, dass im Brückenbau der Beton ein dauerndes und grosses Verwendungsgebiet gewonnen hat. Da, wo die Brücken den Verkehr relativ grosser bewegter Lasten vermitteln, wird aber wohl die Ausführung in Stampf-Beton, im Vergleich zu der Monier-Bauweise, im Vorzuge sein, aus dem Grunde, dass grössere Erschütterungen nur in grossen todten Massen sicher „verarbeitet" werden.

Eine besondere Eignung besitzt der Cementbeton auch zu Fliesen in der verfeinerten Weise der neueren Zeit hergestellt. Sie zeichnen sich vor den Fliesen aus natürlichem und aus gebranntem Stein namentlich durch ihre angenehmere Begehbarkeit und durch Schalldämpfung aus, und stehen denselben was Abnutzbarkeit usw. betrifft, nicht nach.

Auf die besondere Eignung des Betons zu Pfosten, Mauer- und Pfeilerbekrönungen, Ballustern, Säulen, Kapitälen, Vasen, Figuren, Füllungen und ähnlichen Theilen braucht hier nicht hingewiesen zu werden, weil der Gegenstand schon im Abschnitt I. berührt worden ist und weiterhin noch einige betr. Beispiele mitgetheilt werden sollen. Es wird im Interesse des guten Aussehens solcher Theile immer zu empfehlen sein, nicht zu scharf geschnittene Formen, namentlich keine spitzwinkligen zu verwenden, sondern anstatt deren mehr rundliche, bei welcher die Gefahr der Beschädigung der Kanten und Ecken verringert ist.

IX. Verwendungsformen von Beton und vergleichende Beurtheilung derselben.

Beton wird entweder unter Wasser oder im Trocknen „geschüttet", bezw. geformt, oder es werden aus demselben, bevor die Verwendung stattfindet, Stücke von regelmässiger Form „Blöcke" gebildet, welche man zunächst erhärten lässt um sie später für einen beabsichtigten Zweck zu benutzen. Darnach kann unterschieden werden, zwischen:

1. Bau mit Nass-Betonirung,
2. „ „ Trocken-Betonirung,
3. „ „ Blöcken (Blockbau).

Dies gilt für Betonbau im weitesten Sinne. Im engeren Sinne handelt es sich bei der Nass- sowohl als der Trocken-Betonirung um Herstellungen in der Tiefe, und wird vorausgesetzt, dass Wasserzutritt stattfindet, sei es dass das Wasser fliesst oder still steht, oder auch blos als Grundwasser vorhanden ist; auf Betonschüttung über Wasserspiegel, finden die Bezeichnungen Nass- und Trocken-Betonirung keine Anwendung. Trocken-Betonirung im engeren Sinne liegt also da vor, wo man Betonschüttungen in einer Baugrube ausführt, welche zur ganzen Tiefe trocken gehalten wird, so dass die Erhärtung des Betons an der Luft stattfindet, und Nass-Betonirung da wo Trockenhaltung überhaupt nicht stattfindet, vielmehr der Beton unter Wasser erhärtet.

Unter den Bautechnikern bestand früher vielfach Abneigung gegen die Trocken-Betonirung, besonders aus dem Grunde, dass man eine gute Erhärtung des Betons nur unter Wasser möglich hielt. Man war der Ansicht, dass sowohl zur gleichförmigen Mischung der Materialien als einer guten Erhärtung des Betons möglichst nasser Mörtel und längeres Verbleiben des frisch geschütteten Betons im Wasser unbedingt erforderlich sei. In neuerer Zeit sind diese Ansichten als nicht zutreffend erkannt; wenigstens weiss man, dass ein Ueberfluss von Wasser der Bindekraft und Festigkeit des Mörtels schadet, unter Umständen dieselbe ganz aufheben kann. Ueber die Ergebnisse einiger vergleichenden Versuche hierzu ist weiterhin, auf S. 110, 111 Mittheilung gemacht. — Nicht selten sind solche Fälle, in denen die Wahl zwischen Nass- und Trocken-Betonirung frei steht.

Man wird bei tief gehenden Bauten nicht immer von vorn herein klar über die Menge des zutretenden Grund- oder Quellwassers sein, vielmehr erst beim Niederbringen der Baugrube und Arbeiten des Schöpfwerks hierüber volle Sicherheit gewinnen. War nasse Betonirung geplant, war das dazu erforderliche Material zur Stelle und vorläufig nur ein Schöpfwerk von geringer Leistungsfähigkeit aufgestellt und erweist es sich beim Niederbringen der Baugrube, dass die Grösse des Schöpfwerks für Ausführung von Trockenbetonirung ausreichend ist, so kann es wirthschaftlich vortheilhaft erscheinen, die ursprünglich geplante Nass-Betonirung fallen zu lassen und an ihre Stelle Trocken-Betonirung zu setzen. Im um-

gekehrten Falle ist man gezwungen umgekehrt zu verfahren. Die vorläufig offen gebliebene Entscheidung kann ferner durch den äusserlichen Umstand beeinflusst werden, ob der zur Nass-Betonirung erforderliche grössere Arbeitsapparat, (schwimmende oder feste Rüstungen, Senkkästen, Winden, Pumpen usw.) zur Stelle ist oder nicht, bezw. ob Beschaffungs-, Aufstellungs- und Bedienungskosten desselben innerhalb gewisser Grenzen bleiben, welche zu der Grösse des Gegenstandes in angemessenem Verhältniss stehen? Zuweilen werden beide Schüttungsweisen: die Nass- und die Trocken-Betonirung bei demselben Bauwerk nach einander zur Anwendung kommen. Z. B. ist bei sehr tief reichenden Bauten die Nass-Betonirung oft die einzig anwendbare Gründungsweise, weil die sonst erforderliche Wasserwältigung unmöglich sein, oder auch die, keine Wasserwältigung bedürfende, pneumatische Gründungsweise zu hohe Kosten verursachen würde, während noch andere Gründungsweisen, sei es wegen der Form des betreffenden Bauwerks, sei es wegen der Bodenbeschaffenheit ausscheiden. In solchen Fällen wird die Nass-Betonirung bis zu einer Höhe hinauf geführt, dass die als Mauersohle zu benutzende Oberfläche der Schüttung über, oder doch so nahe unter Wasserspiegel liegt, dass derselbe unschwer bis zur Mauersohle abgesenkt werden kann.

Gewissen Vorzügen, die man der Nass-Betonirung beizulegen geneigt ist, stehen Mängel derselben gegenüber. Was die — vorausgesetzte — Innigkeit und Gleichmässigkeit der Mischung des Mörtels mit den übrigen Betonmaterialien betrifft, so ist zu beachten, dass es sich beim Beton um Bestandtheile von grossen Verschiedenheiten der Form und der Schwere handelt. In dem Zusatz an Steinen, Kies und Sand sollen möglichst alle Korn-Grössen, etwa von Faustdicke bis herab zum Sandkorn, vertreten sein, desgleichen die manigfaltigsten Formen der einzelnen Theile. Ebenso verhält es sich mit dem Bindemittel, dem Cement, dessen Korngrösse Grobes, Feines und Feinstes in innigster Mischung umfasst. Wenn man dazu noch die Verschiedenheiten, welche in den spezifischen Gewichten dieser Körper stattfinden, beachtet, so ist klar, dass die Betonbestandtheile, sich selbst überlassen, im Wasser mit sehr ungleichen Geschwindigkeiten sinken und folgeweise bei Ankunft unten nicht diejenige Mischung, welche sie vor dem Verbringen ins Wasser besassen, beibehalten vielmehr neue, gegenseitige Lagen angenommen haben, welche den oben angegebenen Verschiedenheiten entsprechen. Etwas uneigentlich kann man diesem Vorgange den Namen „Entmischung“ des Betons beilegen. Bei ganz regelmässigem Verlaufe der Entmischung würden die gröberen Steine zu unterst liegen, darüber Kies und gröberer Sand lagern, hiernächst feiner Sand und oben der Cement folgen, letzterer ebenfalls mit Sonderung der gröberen Theile von den feinern. Mit dieser Trennung wird die durch den Wasserüberschuss ohnehin verminderte Bindefähigkeit des Mörtels noch weiter beeinträchtigt, oder auch ganz zerstört werden können.

Der hier geschilderte Vorgang ist in der Praxis vielfach, wenn auch nicht in seiner ganzen Reinheit, beobachtet worden, ein besonderes Zeichen dafür bilden schaumige Absonderungen, welche sich bei unvorsichtigem Nass-Betoniren leicht zeigen und welche, fälschlich, oft als Absonderungen nur von überschüssigem Kalkgehalt des Cements angesehen werden. Spezielle Versuche hierzu hat Dr. Dellbrück angestellt, indem er mit Wasser gefüllte Zylinder von nur 30 cm Höhe benutzte, in welchen er die Betonmasse — ohne Schutz gegen Ausspülen — zu Boden sinken liess. Selbst bei dieser sehr geringen Fallhöhe und dem vollkommenem Stillstand des Wassers im Glaszylinder blieb die Entmischung nicht aus.

Hiernach ist es völlig ausgeschlossen, dass ein Verfahren, wie es in früherer Zeit nicht selten angewendet worden: Beton mit Schaufeln ins Wasser zu werfen, einen haltbaren Beton nicht ergeben kann.

Um einen ungünstigen Erfolg der Nass-Betonirung zu vermeiden, müssen wirksame Vorkehrungen besonders in der Schüttungsweise des Betons getroffen werden; was hierzu geschieht, kann unter der Bezeichnung „Abhaltung des Wassers" während des Versenkens zusammengefasst werden. Aber auch der frisch geschüttete Beton bedarf in bewegtem Wasser, damit der Mörtel nicht ausgewaschen werde, zunächst einigen Schutz.

Anstatt dass man den Beton das Wasser frei durchfallen lässt, wird derselbe in Säcken, Kästen, Trichtern oder Röhren zu grösseren Mengen vereinigt auf den Grund hinabgelassen, so dass seine Berührung mit dem Wasser vor Ankunft an der bestimmten Stelle möglichst verhindert oder doch wesentlich eingeschränkt ist. Die zweckmässigsten Versenkungs-Einrichtungen sind an anderer Stelle besprochen; hier erübrigt nur die Bemerkung, dass denselben um so mehr Sorgfalt zuzuwenden sein wird, je grösser die Wassertiefe ist. In dem Falle aber, dass die Schüttung in tiefem Wasser an der Seeküste ausgeführt wird, wo Ebbe und Fluthwechsel stattfindet, kann der Beton in der grösseren Tiefe vor dem Auswaschen mehr geschützt sein, als in derjenigen Höhenzone, in welcher der Wechsel von Ebbe und Fluth sich vollzieht. Denn die Wellenbewegung des Wassers erstreckt sich selten zu grösserer Tiefe hinab, wenigstens nicht mit ungeschwächter Kraft, erweist sich vielmehr in der Nähe der Oberfläche am kräftigsten. Hier aber erfährt ihre Wirkung durch das regelmässige Steigen und Fallen des Wasserspiegels noch eine Verstärkung. Bei Betonbauten an der Seeküste gilt daher der in der Zone des Fluthwechsels liegende Höhentheil als der am schwierigsten auszuführende, welcher bei Schüttungen ganz besondere Schutzvorkehrungen gegen Auswaschen des Mörtel erfordert. Während der Bau im unteren Theil vielleicht ohne Schutzvorkehrungen ausführbar sein wird, müssen in dieser Zone Schalungen u. s. w. zu Hülfe genommen werden, und ist der Beton auch in einer fetteren Mischung herzustellen. — Desgleichen ist besondere Sorgfalt nöthig, wenn die Schüttung nicht in stehendem, sondern — wie z. B. bei Brückenbauten — in fliessendem Wasser ausgeführt wird.

Häufig wird in Betracht kommen, ob rasch bindender Cement vor langsam bindendem im Vorzug ist, insofern als bei demselben die Dauer der Gefährdung durch den frühzeitigeren Eintritt des Abbindens abgekürzt ist. Dieser Vorzug ist so gross, dass man bei demselben ein kleines Minder an Festigkeit des aus rasch bindendem Cement hergestellten Betons immer in den Kauf nehmen kann.

In England hat man — vereinzelt — ein anderes — weniger gutes — Mittel gegen die Entmischung beim Nassbetoniren in Anwendung gebracht: Man hat den ziemlich trocken angemachten Beton in Kästen gefüllt, etwas gestampft, und erst, nachdem derselbe während einiger Stunden erhärtet war, also einen gewissen Festigkeitszustand erreicht hatte, versenkt; so geschütteten Beton hat man den — uneigentlichen — Namen „plastischer Beton" gegeben. Der Grundgedanke bei diesem Verfahren ist der, dass der Beton erst eine gewisse Zähigkeit erlangen soll, bevor er mit dem Wasser in Berührung kommt, um vor den spülenden Wirkungen, namentlich bewegten Wassers einigermaassen geschützt zu sein. Dieser Gedanke ist zwar nicht ganz unrichtig; doch muss bedacht werden, dass bei der Schüttung der erreichte Zusammenhang zwischen den einzelnen Bestandtheilen des Betons wieder preisgegeben wird. Da der Beton wieder

auseinanderfällt, wird die Festigkeit, welche er besass, zu einem Theile wieder zerstört und damit überhaupt verloren gegeben, so dass der sogenannte plastische Beton in seiner schliesslichen Festigkeit hinter der Festigkeit des in normaler Weise hergestellten Betons zurückbleiben muss. Da aber auch Beton, aus welchem ein Theil des Mörtels ausgewaschen wird, an seiner Festigkeit Schaden nimmt, kann allerdings die Güte des Erzeugnisses bei beiden Verfahrungsweisen der Herstellung schliesslich dieselbe sein. Um ein gewisses befriedigendes Resultat mit dem plastischen Beton zu erzielen, muss der Cement langsam abbinden, und solcher Beton auch nur wenig feucht angemacht werden. Es ist ferner nöthig, die Dauer vom Anmachen bis zum Versenken unter Wasser der Bindezeit und der Lufttemperatur anzupassen. Je langsamer der Cement abbindet, und je niedriger die Temperatur ist, je grösser kann jene Zwischenzeit sein und umgekehrt. Der englische Ingenieur Kinipple, welcher Versuche mit plastischen Beton schon vor etwa 30 Jahren gemacht, und solchen Beton später bei mehreren Hafenbauten (Girvan und Aberdeen) mit gutem Erfolg angewendet haben will, giebt an[1]), dass die Dauer der Zeit von Bereitung bis zum Versenken bis etwa 8 Stunden betragen dürfe, ohne dass eine zu grosse Herabsetzung der Festigkeit sich ergebe, dass man indessen in der Regel nicht über 2—5 Stunden hinaus gehen solle. Als eine Verbesserung des plastischen Betons bezeichnet Mr. Kinipple einen geringen Zusatz von rasch bindendem Portlandcement oder auch von Romancement zum Mörtel. Es ist aber nicht abzusehen, warum man anstatt eines blossen Zusatzes von rasch bindendem Cement nicht weiter gehen, und ausschliesslich solchen Cement verwenden soll, selbstverständlich unter Verzicht auf die Plastizität des Betons.

Nicht ganz in Abrede zu stellen ist es, dass bei Betonschüttungen in stark bewegtem Wasser, wenn es nicht auf grosse Festigkeit des Betons ankommt, sondern der Beton vorwiegend als todte Masse zu wirken hat — wie z. B. bei dem Kern von Molen und Wellenbrechern — die Benutzung des sogen. plastischen Betons von Vortheil sein kann. Man wird indessen immer festhalten müssen, dass das hier in Rede befindliche Verfahren mit der rationellen Benutzung des Cements in offenem Widerspruch steht und aus diesem Grunde anderen Mitteln, welche auf den gleichen Zweck — Schutz des Betons vor Ausspülen — hinaus gehen, nachgesetzt werden muss.

Ein besseres, in neuerer Zeit mehrfach angewendetes Schutzmittel[2]) gegen Ausspülen des Betons besteht darin, an der Innenseite der Baugruben-Umschliessung eine Segeltuch-Verkleidung anzubringen. Um den Schutz derselben noch zu erhöhen, kann man die Verkleidung mit einem wasserdichten Anstrich — etwa aus einer Mischung von 10 Gewichtstheilen Theer und 1 Gewichtstheil Terpentinöl bestehend — versehen. Es ersieht sich von selbst, dass dieses Mittel nur in besonderen Fällen gut anwendbar und auf Baugruben mit nicht grosser Ausdehnung, welche mit Spund- oder Pfahlwänden umschlossen sind, beschränkt sein wird.

Sehr künstlich und darum auf die Anwendung in eigentlichen Nothfällen beschränkt ist das Mittel: zunächst nur die Mischung von Steinen und Kies zu schütten und dieser Schüttung erst nachträglich den Mörtel zuzuführen. Es wird dazu in der Schüttung ein bis über Wasser-

[1]) Concrete as applied in the Construction of Harbours.

[2]) Auch bei den Pfeilergründungen der neuen (zweiten) Elbbrücke bei Hamburg, vergl. Brennecke, Der Grundbau.

spiegel reichendes Rohr eingesetzt, in welches man flüssig gemachten Cement — ohne Sandzusatz — einschüttet. In der oben angeführten Schrift: Concrete as applied in the Construction of Harbours, werden mehrere Beispiele mitgetheilt, in denen von diesem Verfahren mit gutem Erfolge Gebrauch gemacht sein soll: der erste Fall angeblich im Jahre 1880 bei Reparatur eines Trockendocks in Havre; es ist sicher, dass solche Fälle in Deutschland schon früher dagewesen sind. In Jersey sollen 13 m unter Fluthspiegel liegende frische Schüttungen aus gröberen Steinen, durch Benutzung eines 4 cm weiten Standrohres nachträglich mit gutem Erfolg in Beton verwandelt worden sein. Ueber die Ausdehnung, in welcher dieses Verfahren ausgeführt worden, ist nichts Näheres angegeben.

Es ist aus mehreren Gründen klar, dass an Beton, der in solcher Weise hergestellt ist, keine hohe Anforderungen, weder was Festigkeit noch was Dichtheit und Homogenität betrifft, gestellt werden können, dass man es in allen Fällen mit einem blossen Nothbehelf zu thun hat, dessen Ergreifung erforderlich sein kann, z. B. bei Unterfangungen von Pfeilern oder Mauern, bei Füllung undichter Stellen in Beton, welche durch Auswaschungen oder sonst wie entstanden sein können. Eine ausgedehntere Anwendung dieses Mittels verbietet sich auch schon aus dem anderen Grunde, dass ein gewisser nothwendiger Grad von Sicherheit für guten Erfolg bei der Anwendung dieses Mittels nicht gegeben ist, zumal nicht, wenn es sich um Ausführungen in bewegtem Wasser handelt.

Als letzes besonderes Mittel Schüttungen aus frischem Beton gegen Auswaschungen zu schützen ist die Benutzung sogen. Sackblöcke anzuführen. Das Mittel scheint englischen Ursprungs zu sein und besteht darin, den frisch angemachten Beton in Säcke zu füllen, oder vielmehr denselben in passenden Mengen in Segeltuch-Umhüllungen einzuschlagen, ihn in diesen zu versenken und die Schüttungen in den Hüllen zu belassen. Wenn die Segeltuch-Umhüllungen einigermassen nachgiebig sind kann unter dem Druck der überlagernden Massen sich ein leidlich dichter Zusammenschluss der Einzel-Massen ergeben. Eine gewisse Sicherheit dafür besteht jedoch schon desshalb nicht, weil der weiche Beton häufig nach allen Seiten auseinanderfliessen wird und dabei die Säcke eine rundliche oder konische Form annehmen müssen. Nur ein Weniges kann man hiergegen thun, indem man die Enden der Sackblöcke etwas stärker macht als den mittleren Theil derselben. Ob die vielen Trennungen der Betonmasse, welche durch das Verbleiben der Sackhüllen in denselben sich ergeben, jener zum Schaden gereichen oder nicht, ist eine Frage, deren Beantwortung sich nach den Besonderheiten des Falles richtet, z. B. auch von der Grösse der Sackblöcke abhängt.

In dieser Hinsicht ist anzuführen, dass in Wick Sackblöcke von 14 bis 30 cbm, in Aberdeen und Plymouth von 23 cbm und in Newhaven von 45 cbm verwendet worden sind.[1]) Von grösserer Bedeutung kann die Frage sein, ob nicht im Fortgange der Schüttung Setzungen und Verschiebungen der Betonmasse zu fürchten sind, wodurch Trennungen entstehen oder die Festigkeit der Masse Schaden nimmt.

Im allgemeinen ist das Gebiet der Verwendung des Sackbetons nur ein beschränktes; hauptsächlich wird derselbe bei Reparaturen beschädigter Betonschüttungen in Frage kommen, da es auf der Hand liegt, dass die Beschaffung von Reparaturen unter Wasser mit Massen von

[1]) Concrete as applied in the Construction of Harbours.

schmiegsamer Form leichter sein wird, als unter Benutzung loser Massen, welche überdem den spülenden Wirkungen des Wassers ausgesetzt sind.

Beton-Schüttungen unter Wasser erhärten vermöge des freien Wasserzutritts, zumal bei niedriger Temperatur, viel langsamer als an der Luft; es kommt vor, dass selbst nach Verlauf mehrerer Wochen die Erhärtung noch ungenügend ist. War indessen der Portlandcement nur von tadelloser Beschaffenheit, so wird nach der Trockenlegung die Erhärtung sich bald einstellen. Wenn aber auf Wasserdichtigkeit der Schüttung gegen einigen Druck von unten aus gerechnet werden muss, ist es nothwendig, mit der Trockenlegung von Betonschüttungen nicht nur Wochen, sondern ein paar Monate zu warten; jedenfalls sind einige Monate Wartezeit erforderlich, wenn eine Schüttung noch im Spätherbst ausgeführt wurde. In solchen Fällen darf zur Trockenlegung erst beim Wiedereintritt höherer Temperaturen geschritten werden.

Da die Trockenlegung eines tief unter Wasser befindlichen Betonbettes die Folge haben kann, dass dieses durch Wasserdruck von unten auf Zug- und Druckfestigkeit hoch beansprucht wird, muss die Trockenlegung mit grosser Vorsicht bewirkt werden, damit jedenfalls ein rascher Uebergang des Betonbettes aus dem spannungslosen Zustande in den gespannten und Rissebildungen in Folge davon vermieden werden.

Bei manchen Konstruktionen, wie z. B. Schleusen- und Trockendock-Böden, tritt der durch den Wasserdruck bewirkten Beanspruchung des Betonbettes auf Biegungsfestigkeit eine Beanspruchung auf dieselbe Festigkeit dadurch hinzu, dass die Ränder des Betonbettes durch aufgehende seitliche Mauern nach und nach stark belastet werden, während der Mitteltheil gar nicht, oder doch nur in geringem Grade belastet wird.

Gefahren für die Haltbarkeit des Betonbettes, welche hieraus hervor gehen können, wird am sichersten durch eine reichliche Bemessung der Stärke des Betonbettes vorgebeugt. Bei der wegen des Wasserdrucks von unten zu gebenden Stärke kommt es insbesondere auf das Gewicht der Betonmasse im Vergleich zu der Höhe der drückenden Wassersäule an. Ist das spezifische Gewicht des Betons = 2,25 (wie es bei Benutzung von Schotter und Natursteinen öfter der Fall sein wird) so muss das Betonbett die Stärke $\frac{1}{2{,}25}$ h (mit h ist die Wassersäule bezeichnet), d. h. etwa 0,44 h erhalten, wenn das Betonbett spannungslos bleiben soll, eine Stärke, die sich beim spezifischen Gewicht des Betons von 2,5 auf 0,4 h vermindert. Diese Stärke braucht allerdings — indem man auf die Zugfestigkeit des Betons immerhin Einiges rechnen darf — nur in der Mitte des Betonbettes vorhanden zu sein und es kann nach den Seiten hin Verringerung stattfinden. Man sieht aus diesen Zahlen, dass für Beton, welcher durch Wasserdruck von unten in Spannungszustände versetzt werden kann, es wichtig ist, Schottermaterial von hohem spezifischem Gewicht, d. h. natürliches Gestein zu verwenden und Schotter, z. B. aus Ziegelstein, welcher erheblich leichter ist, von der Benutzung auszuschliessen.

Andere, jedoch weniger verlässliche Mittel als das vorangegebene, zum Schutz gegen Entstehung von Rissen in Folge der Wirkung des Wasserdrucks von unten, bestehen darin, dass man zu dem oberen auf Zugspannung beanspruchten Theil einer Betonplatte eine fetterere Mörtelmischung benutzt als zu dem unteren Theil, welcher nur auf Druckspannung beansprucht wird. Oder auch darin, dass man in dem oberen Theil

der Schüttung Bandeisen-Einlagen macht, am besten in beiden Richtungen des Betonbettes. Bei Mauerwerk auf wandelbarem Untergrund ist das letztangegebene Mittel ein vielfach erprobtes, aber auch bei Betonplatten unter Hochbauten schon öfter angewendetes. Im allgemeinen wird man jedoch solche künstlichen Sicherungsmittel besser vermeiden und den nothwendigen Sicherheitsgrad lieber in einer Verstärkung des Betonbettes suchen, schon deshalb, weil dabei auch die wichtige Forderung der Homogenität des Betonkörpers erfüllt ist.

Bei der Trockenbetonirung kommen die mit der Nassbetonirung verbundenen oben besprochenen Schüttungs-Schwierigkeiten nebst der Gefahr der Entmischung des Betons in Fortfall. Da die Schüttung offen vor Augen liegt, werden Mängel, die bei der Betonbereitung vorgekommen sind, nebst solchen, die bei der Verarbeitung desselben in der Baugrube entstehen, entdeckt werden und ist für dieselben leicht Abhülfe zu schaffen. Hierher gehören besonders Nachlässigkeiten bei der Mischung des Mörtels mit dem Steinmaterial, welche im Interesse der Homogenität der Schüttung sorgfältig zu vermeiden sind. Es gehört ferner hierher auch die Beseitigung von Schmutz- oder Schlammablagerungen auf der Oberfläche einer in Herstellung begriffenen Schicht, wenn die Arbeit zeitweilig, etwa auch nur während der Nacht oder während kurzer Tagespausen unterbrochen wird, eine Leistung, die ebenfalls von grosser Bedeutung für die Güte der Schüttung ist. Es kann bei der Trockenbetonirung der Zutritt überschüssiger Wassermengen zum Mörtel verhindert und derjenige Feuchtigkeitszustand desselben eingehalten werden, welcher der Erhärtung des Mörtels am dienlichsten ist, und es ist endlich die Möglichkeit vorhanden, die Qualität des Betons durch Zuhilfenahme von Stampfen erheblich zu verbessern.

Den Einfluss der Wassermenge auf die Festigkeit von Beton lassen folgende von Prof. Tetmajer gefundenen Zahlen erkennen. Beton derselben Zusammensetzung, mit verschiedenen Wassermengen angemacht, lieferte folgende Druckfestigkeitszahlen:

	Wassermenge im Mörtel (Prozent)			
Bei Wasser-Erhärtung	9,0 (ziemlich trocken)	12,0 (ziemlich feucht)	15,0 (nass)	18,0 (flüssig)
nach 28 Tagen	277,0	289,2	248,0	212,6 kg/1 qcm
„ 210 „	333,8	406,2	335,6	304,0 „

Den Einfluss aller genannten Faktoren auf die Beschaffenheit des Betons erweisen genau einige besondere Versuche, die darüber von R. Dyckerhoff angestellt worden sind.[1]) Nachdem Dyckerhoff bei anderweiten Versuchen die Wahrnehmung gemacht hatte, dass bei der Nassbetonirung, um gleiche Festigkeit zu erzielen wie bei der Trockenbetonirung, der Mörtel nicht nur fetter, sondern auch die Menge desselben grösser genommen werden müsse, lieferte derselbe auch an einer Reihe von Sonder-Versuchen den zahlenmässigen Nachweis dieser Thatsache.

Beton aus 1 Th. Cement, 3 Th. Sand und 3 Th. Kies bereitet, ohne Einstampfen geformt und sogleich unter Wasser gebracht, ergab nach 28 Tagen Erhärtungsdauer die Druckfestigkeit von 35 kg/1 qcm, dagegen ein viel magererer Beton, bestehend aus 1 Th. Cement, 3 Th. Sand und 6 Th. Kies, in die Form eingestampft, 1 Tag an der Luft getrocknet, und 27 Tage im Wasser erhärtet, etwa das Dreifache jener Festigkeit.

[1]) Deutsche Bauzeitung, Jahrg. 1880 und 1892.

Ganz so ungünstig, wie in diesen Versuchen dürfte bei praktischen Ausführungen das Ergebniss sich nicht herausstellen, aus dem Grunde nicht, weil bei letzteren unter der Wirkung der Schwere der zu grösserer Höhe aufgeschütteten Massen eine dichtere Lagerung der einzelnen Theile zu Stande kommt, als bei Versuchen im Kleinen, wo die Schüttungshöhe nur sehr gering ist.

Hinsichtlich des Fortgangs der Erhärtung in längerer Dauer ergeben die Dyckerhoff'schen Versuche ein etwa gleiches Verhalten des sogleich unter Wasser gebrachten mit dem des eingestampften Betons. Bei beiden Erhärtungsarten steigt im Laufe eines Jahres die Druckfestigkeit etwa auf das Doppelte der 28 Tagesfestigkeit. Uebrigens hängt selbstverständlich die Grösse der Zunahme von der Menge des Sandzusatzes und von den besonderen Eigenschaften des Cements ab.

Die Ergebnisse weiterer, besonderer Versuche Dyckerhoffs welche den Zweck hatten, diejenigen Mischungsverhältnisse von Beton festzustellen, welche zur Erhärtung unter Wasser bestimmt ist, wenn ökonomisch richtig gearbeitet werden soll, sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt.

Lfd. No.	Mischungsverhältniss; Raumtheile.				Druckfestigkeit nach 28 Tagen Erhärtung. kg für 1 qcm.	Bemerkungen.
	Cement.	Wasserkalk.	Sand.	Kies.		
1.	1	—	2	—	49,7	Die Zahlen beziehen sich auf Cement, welcher bei der Normenprobe 16 kg Zugfestigkeit ergab und die Bindezeit von 1 Stunde besass.
2.	1	—	2	4	24,0	
3.	1	—	2	3	41,0	
4.	1	—	2	2	51,3	
5.	1	—	3	—	34,1	
6.	1	—	3	5	23,3	
7.	1	—	3	4	27,5	
8.	1	—	3	3	35,2	
9.	1	1	6	—	11,2	
10.	1	1	6	7	7,8	
11.	1	1	6	6	9,8	
12.	1	1	6	5	11,7	

Aus der Vergleichung der Druckfestigkeits-Zahlen für den Mörtel ohne Kieszusatz (No. 1, 5, 9) mit denjenigen des Betons No. 2—4, 6—8, 10—12 ersieht sich zunächst der Einfluss genau, welchen der Kieszusatz auf die Druck-Festigkeit ausübt. Der Vergleich der bei wechselnder Grösse des Kiesantheils erlangten Festigkeitszahlen lässt sodann die Festigkeits-Abnahme erkennen, welche sich bei Vergrösserung des Kiesantheils ergiebt. Im allgemeinen nimmt nach diesen Zahlen mit der Vermehrung des Kiesantheis auf das Doppelte die Festigkeit auf die Hälfte ab.

Der Vergleich der Festigkeits-Zahlen bezw. zu No 1 mit 4, zu No. 5 mit 8 und zu No. 9 mit 12 ergiebt den Beweis, dass, um gleiche Festigkeiten des Betons mit Mörtel zu erlangen, der Kiesanantheil in ersterem nicht höher als der Sandantheil genommen werden darf. Wird der Kiesantheil hierüber hinaus vergrössert so

nehmen (Reihen zu 3, 2, bezw. 7,6 und 11,1) die Festigkeiten des Betons erheblich ab.

Daraus könnte für Nass-Betonirungen die Regel gefolgert werden, dass, wenn es bei derselben auf Festigkeit ankommt, die Mörtelmenge etwa 50 Prozent nicht unterschreiten darf.

Auch was den Kostenpunkt betrifft, stellt sich hiernach die Nass-Betonirung erheblich ungünstiger als die Trocken-Betonirung, so dass in Fällen wo beide neben einander in Frage kommen in den anzustellenden Vergleich auch Erwägungen über die Mehrkosten, welche durch den Mehrbedarf an Mörtel, sowohl als die Erhöhung von dessen Qualität entstehen, einzubeziehen sind.

Wenn aber auch die Trocken-Betonirung der Nass-Betonirung, sowohl was die Güte der Leistung als die Kosten derselben, als endlich die erleichterte Herstellungsweise betrifft, überlegen erscheint, so muss doch auf ein paar Punkte aufmerksam gemacht werden, welche der Güte der Trockenbetonirung Gefahr bringen können. Dahin gehört Folgendes: Wenn die Schüttung unter dem aussen stehenden Spiegel offenen Wassers odee unter Grundwasserspiegel ausgeführt wird, und also Trockenhaltung der Baugrube unter Benutzung von Pumpenarbeit stattfindet, wird es nur schwer möglich sein, den Wasserstand in der Baugrube immer auf der gleichen Höhe zu erhalten. Wenn derselbe aber schwankt, werden die untern Theile der Schüttung bald trocken, bald mehr oder weniger tief eingetaucht liegen, wobei, wenn das Betonbett dicht ist, Bewegungen der Schüttung stattfinden müssen, welche Rissebildungen und selbst Brüche erzeugen können. Wird etwa frisch geschütteter Beton durch zufälliges oder nicht zu verhinderndes Steigen des Wasserspiegels ganz oder theilweise unter Wasser gesetzt und bald darauf wieder trocken gelegt, so können neben der Entstehung von Rissen auch Auswaschungen des Mörtels bei der Trocken-Betonirung sich ergeben.

Gegen letztere Gefahr, sowie gegen die andere, dass einzelne Theile eines in trocken gehaltener Baugrube hergestellten Betonbettes unterwaschen werden und hohl zu liegen kommen muss sowohl in der Stellung des Pumpwerks als in dessen Betriebsweise vorgekehrt werden. Das Wasser darf bis zum Pumpensumpf nicht lange Wege zurücklegen, muss daher, wenn solche, bei ausgedehnten Beton-Schüttungen etwa nicht zu vermeiden sind, zu Zwischen-Sammelstellen geleitet werden, von denen aus es entweder in frei liegenden, offenen Leitungen oder auch in Kanälen, oder Röhren, welche unter dem Betonbett angeordnet sind, den Pumpen zugeführt wird. Kanäle oder Röhren unter dem Betonbett können bei nicht grossem Wasserzudrang auch durch unregelmässige Steinpackungen vertreten werden; doch ist die Gefahr von Ausspülungen des Mörtels zu beachten, welche durch solche Packungen leicht herbeigeführt wird. Dieser Gefahr wegen ist das zuweilen angewendete Mittel auf der (schlammigen) Sohle einer trocken gelegten Baugrube eine mehr oder weniger hohe Schicht von losen Steinen, Ziegelbrocken u. s. w. auszubreiten und so eine mörtellose Zwischenlage zwischen der Baugruben-Sohle und der Sohle des Betonbettes zu schaffen gänzlich zu verwerfen; es wird im Gegentheil vortheilthaft sein, unmittelbar auf der Baugrubensohle eine Schicht fett angemachten un ddadurch gegen Ausspülen besser gesicherten Betons auszubreiten.

Es muss endlich bei Trocken-Betonirungen zur Sommerzeit der Temperatur- sowohl als Feuchtigkeits-Unterschied beachtet werden, welcher

an der frei liegenden Oberfläche und an der — eingetauchten — Sohle des Betonbettes stattfindet und es sind durch reichliche Befeuchtungen der Oberfläche diese Unterschiede einigermassen auszugleichen.

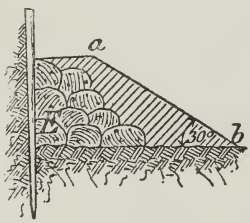
Bei der Nass-Betonirung wird man, zur Vermehrung des Schutzes gegen Ausspülen des Betons, die einzelnen „Portionen“ in welchen man denselben versenkt, möglichst gross machen und es sind dem entsprechend englische Techniker bei Beton-Schüttungen zu Kastengrössen von etwa 4 cbm fortgeschritten; sowohl die „Handlichkeit“ der Kästen als auch die Rücksicht auf das erfolgende Abbinden der Betonmasse setzen für die Kastengrösse eine gewisse Grenze, die sonst kaum zu hoch liegen kann.

Anders bei der Trocken-Betonirung. Bei dieser wird man zweckmässigerweise die „Portion“ gering wählen, sowohl um bei dem Verarbeiten eine gleichmässig gute Mischung der Materialien zu erzielen als zu dem Zwecke für das darauf folgende Stampfen eine ausreichende Wirksamkeit zu sichern.

Die Gleichartigkeit eines Betonbettes hängt, wenn dasselbe nicht etwa in dünnen Lagen und unter Mitbenutzung von Stampfarbeit, sondern einfach durch Schüttung hergestellt wird, noch sehr von der Ordnung gewisser Einzelheiten der Schüttung ab:

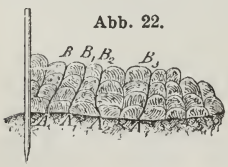
Handelt es sich um ein Betonbett von mässiger Stärke, etwa höchstens 1 m, so wird man bei der Schüttung zunächst mit einigen Kästen oder Karren Beton die Ecke E der Baugrube füllen und alsdann, fortfahrend, die Schüttung in gleicher Höhe bis zur andern Seite hinüber treiben, Abbildg. 21. Dies Verfahren ist besonders dann zweckmässig, wenn es sich um eine lang gestreckte schmale Baugrube, wie z. B. für Mauern handelt, in denen selbstverständlich die Schüttung „vom Ende aus“ vorgetrieben wird. Die Trennungsflächen zwischen den einzelnen Portionen liegen geneigt, d. h. günstig zur Sohle der Baugrube und werden sich im allgemeinen wenig ausgeprägt zeigen. Etwa an der Sohle sich bildender Schlamm, wie desgleichen schaumige Absonderungen aus dem Beton selbst, werden vorausgetrieben und müssen von Zeit zu Zeit, nach gewisser Ansammlung, etwa mittelst Gebrauchs einer Schlammpumpe vorsichtig entfernt werden, so dass nicht die Gefahr der Mitführung grösserer Mörtelmengen aus dem Beton entsteht. Bei der geringen Länge der Böschung a b — der Neigungswinkel derselben wird etwa 20 bis 30° betragen — ist schliesslich auch nicht zu fürchten, dass bei dem Hinabrutschen der Masse auf der schiefen Ebene eine irgend wie erhebliche Trennung der Steinstücke von dem Mörtel, d. h. eine wesentliche Verschlechterung der Betonmischung stattfindet.

Abb. 21.



Bei grösserer Höhe der Schüttung wird man, wenn nicht ein grosser maschineller Arbeitsapparat zur Verfügung steht, sondern man auf Handbetrieb, insbesondere Winden zur Beweguug der Schüttungskästen angewiesen ist, die Schüttung in mehreren Höhenschichten nach einander ausführen müssen. Es ist sehr wichtig, dabei eine bestimmte Ordnung einzuhalten, weil es nur so vermieden werden kann, dass ungünstig liegende Trennungsflächen entstehen, wie dies in Abbildg. 22 anschaulich gemacht ist. Durchgehende Trennungsflächen A B, $A_1 B_1$ u. s. w. müssen durchaus vermieden werden und es ist dies namentlich dann wichtig, wenn solche in der Richtung der grössten Ausdehnung der Baugrube

Abb. 22.



fallen. Die einzelnen Kastenfüllungen müssen sich übergreifen, so dass, ähnlich wie bei Mauerwerk, „Versetzung“ der Fugen stattfindet.

Besondere Bedeutung hat die Vermeidung von aufwärts gehenden Trennungsflächen in dem Falle, dass es sich um Betonbetten handelt, welche, wie z. B. solche bei Trockendocks und Schleusen, an den Rändern die Last hoch gehender Mauern zu tragen haben, während der Mitteltheil unbelastet bleibt. Abbildg. 23 zeigt, dass die durch die Form solcher Bauwerke ohnehin begünstigte Gefahr der Entstehung von Längenrissen durch Nichtbeachtung der in Rede befindlichen Forderung sehr vergrössert werden kann. Man thut gegen dieselbe das Mögliche, indem man mit den Richtungen der Schüttungen von je zwei Lagen regelmässig wechselt. Da hier die zu unten liegende Schicht auf Druckfestigkeit, die zu oberst liegende dagegen auf Zugfestigkeit beansprucht wird, kann bei Schüttung ersterer die Richtung, in der die Vortreibung stattfindet, unbedenklich parallel mit der Längenrichtung des Bauwerks gelegt werden, Abbildung 24; während für die oberste Schicht es nothwendig ist, die Richtung der Schüttung quer zur Längenrichtung des Betonbettes zu wählen, Abbildg. 25.

Abb. 23.

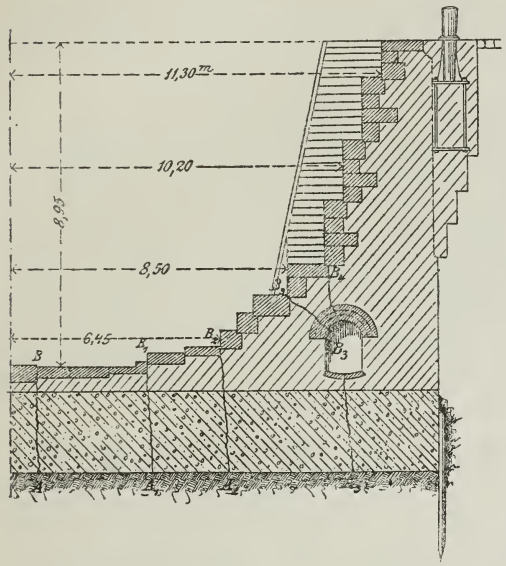


Abb. 24.

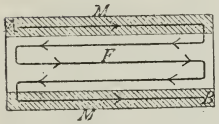
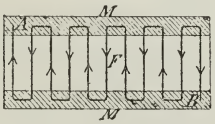


Abb. 25.



Aus den vorstehenden Darlegungen wird der grosse Einfluss erkennbar, welchen die äussere Form und Beschaffenheit des Arbeits-Apparates auf die Güte eines Betonbaues ausüben kann und wie sehr nothwendig es ist, bei der Planung eines Betonbaues von nur mässiger Grösse alle Einzelheiten des Arbeiterapparates in genaue Ueberlegung zu ziehen. Einen Wechsel der Schüttungsrichtungen, wie es in den Abb. 24 u. 25 veranschaulicht ist, wird man bei Nass-Betonirungen am leichtesten mit schwimmenden Rüstungen, weniger leicht mit festen bewirken können; doch bringen andererseits schwimmende Rüstungen in ihrer nicht absolut festen Lage leicht gewisse Mängel für die Güte des Werkes mit sich, auf welche hier nur andeutungsweise aufmerksam gemacht zu werden braucht.

Auf die Besonderheiten der Herstellung von Stampfbeton, welche „Trocken-Betonirung unter Zuhilfenahme von Stampfarbeit“ ist, wird erst im folgenden Abschnitt einzugehen sein.

Der Beton-Blockbau ist wenn man die auf S. 108 erwähnten „Sack-

blöcke“ nicht als Blöcke in eigentlichem Sinne gelten lässt, in zwei Ausführungsweisen möglich:

Die Blöcke werden entweder an derjenigen Stelle, an welchen sie verwendet werden sollen, auch hergestellt, oder es sind Herstellungs-Ort und Verwendungs-Ort getrennt, so dass ein Transport der Blöcke hinzutritt.

Bei der erstgedachten Ausführung handelt es sich um Schüttungen, welche von den gewöhnlichen Schüttungsweisen sich nur durch die Schaffung einer scharf begrenzten, blockartigen Form unterscheiden, in allen übrigen jedoch mit ihnen übereinstimmen, so dass im engeren Sinne nur die zweite Ausführungsweise als Blockbau bezeichnet werden kann.

Die erste bekannte Anwendung des Blockbaues hat im Hafen von Algier 1834 sattgefunden. Man stellte dort unter Wasser zwischen eingeschalten Rüstunngen, deren Verschalung mit getheerter Leinwand bekleidet ward, Blöcke von 150—200 cbm Inhalt an Ort und Stelle her, wobei ein Mörtel aus 1 Theil Kalk und 2 Theilen Puzzolane verwendet wurde. Die Schüttung des Betons geschah mit Kästen, welche bewegliche Böden hatten. Zwischen je zwei Blöcken verblieb ein Spalt von etwa 0,60 m Weite, welcher mit loser Steinschüttung gefüllt wurde. Zu mehrerer Sicherung jedoch verstürzte man vor dem Fuss der grossen Blöcke auf einer dort hergestellten Steinschüttung Betonblöcke von 12—50 cbm Inhalt, welche am Ufer in Formkästen aus Mörtel 1 Theil Kalk, 1 Theil Sand und 1 Puzzolane hergestellt waren.

Die Verstürzung von Blöken auf Steinschüttungen hat sich seitdem vollkommen bewährt, wogegen die Errichtung von Mauern auf verstürzten Blöcken, welches ebenfalls versucht worden ist, keine günstigen Erfolge aufzuweisen hat. Die Ursache des Fehlschlags liegt in der Grösse der zwischen den unregelmässig verstürzten Blöcken verbliebenen Zwischenräume, zu welchen der Wellendruck Zugang hat, der die Steine nicht zu einer ausreichend festen Lage kommen lässt. Uebrigens wird der Stoss der Wellen mit der Tiefe mässiger. In 5 bis 6 m Tiefe, in der Ostsee schon bei 3 m Tiefe, ist der Wellenstoss so gering, dass gewöhnliche Steinschüttungen denselben aushalten und keiner Deckung durch Blöcke bedürfen. Diese sinken übrigens bei genügend steiler Böschung auf derselben hinab, bis die Böschung so flach geworden, dass sie ihre, der örtlichen Grösse des Wellenschlages entsprechende „natürliche Neigung“ angenommen hat, bei der sie „steht“. Die Blöcke können also „nachgestürzt“, brauchen nicht regelmässig versetzt zu werden, sondern nehmen ihre Ruhelage von selbst an. Dabei ergiebt sich in der Tiefe die steilste Böschung von etwa 1 : 1,5, welche nach oben hin auf 1 : 5 bis sogar 1 : 10 abnimmt.

Allgemein bietet der Blockbau den Vortheil, dass die Blöcke ohne Schwierigkeiten in der dem Druck oder Stoss der Wellen entsprechenden Grösse herstellungsfähig sind. Der Widerstand, den sie gegen Stoss leisten, wächst mit dem kubischem Inhalt derselben. Wenn also zwei Stücke beispielsweise mit den Flächendurchmessern 2 und bezw. 4 (m) gegeben sind, so werden sich, unter Voraussetzung gleicher spezifischer Gewichte derselben, die Widerstände, welche sie dem Stoss der Wellen entgegensetzen, verhalten wie $2.2.2 = 8$ zu $4.4.4 = 64$, d. h. ein Würfel von doppelter Kantenlänge leistet einem 8mal so grossen Wellendruck Widerstand, als ein Würfel der einfachen Kantenlänge. Freilich ist die Grösse der getroffenen Fläche bei ersterem auch 4mal so gross als bei letzterem, und wird er deshalb auch mit einem 4fach grösseren Druck getroffen werden;

sein Widerstand ermässigt sich dadurch im Verhältniss 8 : 4, das ist auf das Doppelte des Würfels von halber Kantenlänge.

Da bei Bauten an der Seeküste gerade die höchstmögliche Leistung des todten Gewichts diejenige ist, welche angestrebt wird, so folgt, dass für diesen Zweck der Blockbau fast unersetzbar ist. Dies wird noch anschaulicher, wenn hinzugefügt wird, dass Stücke von etwa 2 cbm Inhalt selbst bei mässig hohem Wellenschlage, wie er in der Ostsee vorkommt, noch in Bewegung gesetzt werden, und an stark exponirten Küstenpunkten sogar Blöcke von etwa 60 cbm Inhalt gelegentlich Verschiebungen durch den Stoss der Wellen erleiden, die sich in solchen Lagen auch bis zu grösseren als den oben angegebenen Tiefen hinab fortsetzen. In diesen, wenn auch kleinen Bewegungen muss die wesentlichste Ursache von Zerstörungen solcher Bauwerke gesehen werden.

Ein weiterer allgemeiner Vortheil des Blockbaues besteht darin, dass derselbe die sparsamste Verwendung des theuersten Bestandtheils vom Beton, des Cements, erlaubt. Der Mörtelantheil in den Blöcken kann etwas kleiner als in Schüttungen sein. Schon die Sorgfalt, welche auf die Herstellung und Pflege der Blöcke verwendet wird, die grosse Gleichmässigkeit der Mischung, die Zuhilfenahme von Stampfarbeit und das regelmässige Anfeuchten gestatten dies. Es treten als weitere Gründe aber noch hinzu, dass Blöcke nicht der Gefahr der Auswaschung des Mörtels ausgesetzt sind und dass sie den grössten Theil ihrer Festigkeit vorher erreichen, ehe man ihre Leistung irgendwie in Anspruch nimmt.

So weit durch die vorstehenden Mittheilungen über die Besonderheiten der Hauptanwendungs-Formen des Betons nicht schon die Grundlagen für ein vergleichendes Urtheil über Werth und Verwendungsfähigkeit derselben geboten ist, bleibt hier ergänzend noch Folgendes nachzutragen.

Vor Allem kommt, wenn es sich um die Wahl zwischen mehreren an sich möglichen Verwendungsformen handelt, der Umfang der Leistung in Betracht.

Wenn diese gross ist, so dass die Anschaffung eines mehr oder weniger grossen maschinellen Apparates lohnend erscheint, wird man von Schüttungen in der Regel Abstand nehmen und den Blockbau vorziehen. Bei kleinem Objekt wird dagegen wohl immer der erstere im Vorzuge sein, weil er geringere Ansprüche an die Grösse und Mannigfaltigkeit des Arbeitsapparates macht. Es kann dadurch ein gewisses Mehr, welches durch die bessere Qualität (fetterer Mörtel) bedingt wird, leicht wieder eingebracht werden. Je grösser der Arbeitsapparat, um so grösser ist aber auch die Gefahr von Zerstörungen und Verlusten, welche durch Eintritt von Unwettern herbeigeführt werden können, wenn es sich um Bauten in exponirten Lagen handelt.

Ein Vorzug der Schüttung kann beim Bau auf unebenem Grunde darin gesehen werden, dass dieselbe sich den Unebenheiten des Grundes selbstthätig anschmiegt, während die Ausführung von Blockbau unter solchen Verhältnissen Schwierigkeiten bereitet.

Hinsichtlich der Güte der Leistung ist zu beachten, dass solche, bei Schüttungen unter Wasser ausgeführt, schwer kontrolirbar und selbst durch Benutzung von Taucherarbeit keine vollständige Sicherheit über den Zustand einer unter Wasser befindlichen Betonschüttung zu schaffen ist. Diese Bedenken kommen bei Trocken-Betonirungen in Wegfall, daher Trocken-Betonirungen auch in dieser Beziehung den Vorzug besitzen. In stark bewegtem Wasser an offener Küste Schüttungen

mit Aussicht auf Erfolg auszuführen, bringt viel grössere Schwierigkeiten mit sich als Herstellung im Blockbau.

Grosse Massen, welche nur durch ihre Last zu wirken haben, während sie an den Aussenflächen von bewegtem Wasser usw. Angriffe erleiden, müssen nach Aussen mit fetten, dichten Mörtelmischungen hergestellt werden, während sie im Innern aus ganz mageren Mischungen bestehen können. Diese Unterscheidung, wenn sie einigermassen streng sein soll, wird bei Schüttungen viel weniger leicht durchzuführen sein als bei Blockbau.

Trennende Fugen, ob dieselben in der Zuführung von Schmutz mit dem Wasser, in Niederschlägen aus demselben, in Ausspülungen oder Entmischungen des Mörtels ihre Ursache haben, werden bei Schüttungen unter Wasser nicht zu vermeiden sein. Die Lage solcher Fugen ist unkontrollirbar, während sie bei Blockbau genau bestimmt ist und man gegen ihre etwaigen Gefahren Vorsorge zu treffen vermag.

Gut geeignet erscheinen bei ruhigem Wasser Schüttungen auf reinem und überhaupt festem Baugrund, kaum geeignet jedoch wenn der Grund mit einer mehr oder weniger dicken Schlammschicht bedeckt ist. Denn es wird die nothwendige Forträumung des Schlammes grosse Kosten verursachen, welche denjenigen der Schüttung selbst hinzu treten. Wenn dagegen die Nebenkosten der Forträumung der Schlammschicht gering sind, die Wasserschöpfkosten zur etwaigen Trockenlegung der Baugrube aber hoch, so wird die Nassbetonirung bald in Vortheil kommen. Bei grösserer Wassertiefe und geringer Höhe der Schlammschicht wird die Nassbetonirung regelmässig sehr ökonomisch sein; bei grösserer Höhe der Schlammschicht wird man besser Steinschüttung und, darüber, Blockbau anwenden.

Scheinbar besitzen Schüttungen darin einen Vorzug, dass man die fugenlose Masse beliebig gross machen, d. h. ihre Widerstandsfähigkeit gegen Elementarkräfte höher als bei jeder anderen Bauweise bringen kann. Wenn diese Möglichkeit in der That vorläge, so würde Schüttung insbesondere bei den an der See auszuführenden Betonbauten unbedingt den Vorzug verdienen. Da aber schon unter Wirkung derjenigen Verschiedenheiten, welchen die verschiedenen Theile eines zum Theil unter, zum Theil über Wasser befindlichen Bauwerks mit Bezug auf Temperatur, Feuchtigkeit, chemische Verhältnisse, Wechsel der Belastungszustände u. s. w. ausgesetzt sind, Trennungen erfolgen müssen — wenn dieselben, in Anerkenntniss ihrer Unvermeidbarkeit, nicht schon absichtlich hergestellt waren — so ist dieser zu Gunsten von Schüttungen sprechende Grund als hinfällig zu betrachten. Erfahrungsmässig wird in Lagen, wie die hier vorausgesetzten, auch mindestens eben so oft der Blockbau als die Schüttung angewendet.

Was die in einer gegebenen Zeit herstellbare Arbeitsmenge betrifft, so dürfte auch darin die Schüttung hinter dem Blockbau zurückbleiben, eingerechnet natürlich diejenige Zeit, welche zur Herstellung der Blöcke selbst erforderlich ist. Von der Anrechnung dieser Zeit kann indessen in jedem Falle Abstand genommen werden aus dem Grunde, dass die Herstellung der Blöcke von Witterungswechseln und Jahreszeit nur in sehr geringem Maasse abhängig ist, wogegen auf den Fortgang von Schüttungen Jahreszeit und Witterungswechsel den empfindlichsten Einfluss ausüben. Auch wird das Versenken halbflüssiger Massen an sich schon viel öfter Veranlassung zu Störungen und Zeitverlusten geben als das Versenken von festen Blöcken, bei welchen die möglichen Vorkommnisse gewissermaassen voraus zu sehen sind und daher mehr oder weniger abwendbar sein werden. Endlich ist auch noch auf das kaum erzielbare, fortwährende sehr

innige Zusammengehen der Beton-Bereitung und der Versenkung desselben als auf einen zu Verzögerungen im Fortgange der Arbeit leicht Anlass gebenden Umstand hinzuweisen.

Sackblöcke erfordern, wie der sogen. plastische Beton (S. 106), ebenfalls eine etwas fettere Mischung als eigentliche Blöcke. Hinsichtlich der Sicherheit für die Güte der Leistung mögen dieselben den Schüttungen um ein geringes überlegen sein; doch bleibt die Sicherheit hinter derjenigen bei Blockbauten zurück. Aehnlich ist es mit Bezug auf die bei der Versenkung zu erwartenden Schwierigkeiten und Hemmnisse. Man bedarf aber zur Versenkung von Sackblöcken Schiffsgefässe mit Bodenklappen, ein Erforderniss, welches die Kosten der Versenkung vielleicht bedeutend erhöhen kann.

Hinsichtlich der möglichen Arbeitsleistung findet sich in der Spezial-Litteratur[1]) nur die (ziemlich unbestimmte) Angabe, dass in 1 Tag bis 180 cbm Beton in Schüttungen, sowie auch in Form von Sackblöcken versenkt werden können.

Zu Gunsten des Blockbaues wird bei allgemeinen Vergleichungen geltend gemacht:

1. Gewissheit über ausreichende Festigkeit des Betons, da das Versenken mittelst Krahn die Blöcke einer so hohen Beanspruchung auf Druck- (bezw. auch Zugfestigkeit) unterwirft, wie sie eine auch nur ähnlich grosse nach dem Versenken nicht wieder zu erleiden haben.
2. Möglichkeit genauer Verlegung der Blöcke und relativ leicht zu bewirkender Berichtigungen, wenn ein Block durch Zufall usw. beim Versetzen etwa eine ungenaue Lage angenommen hat.
3. Infolge der Eigenschaft ad 2 von vorn herein ein hoher Grad von Standfestigkeit, welcher mit verhältnissmässig geringen Materialmengen erzielt wird, da Verluste aller Art so gut wie ganz vermieden sind.
4. Die Transportschwierigkeiten selbst der schwersten Stücke sind im Vergleich zu dem Transport von Natursteinen sowohl als Betonmaterialien und angemachtem Beton sehr gering.
5. Abkürzung der Bauzeit und vortheilhafte Ausnutzung der Arbeitskräfte, da dieselben, wenn die Beschäftigung beim Versetzen durch Witterungszustände zeitweilige Unterbrechungen erfährt, während solcher bei der Herstellung von Blöcken beschäftigt werden können. Nach Angaben in der bezüglichen Litteratur soll es möglich sein, etwa 160—180 cbm Betonblöcke in 1 Tag zu versetzen, unter günstigen Umständen sogar das Doppelte. Beim Hafenbau zu Ymuyden (Amsterdamer Seekanal) erreichte die Zahl der Jahres-Arbeitsstunden eines Krahns 1840 und wurden während dieser Zeit mit demselben 25 000 cbm Betonblöcke von 4,5—9 cbm Grösse versetzt.

   Endlich wird als allgemeiner Vorzug des Blockbaues geltend gemacht, dass:

6. derselbe überall ausführbar sei, wo nur die zum Beton erforderlichen Materialien zur Verfügung stehen,

   hingegen als allgemeiner Mangel:

7. die grosse Kostspieligkeit des maschinellen Arbeitsapparates an schweren Krahnen, Tauchergeräthschaften usw.

[1]) Concrete constructions etc.

Endlich mag hierzu angeführt werden, dass jede Fuge in einem dem Wellenschlage ausgesetzten Bauwerk, wie auch jeder Lufteinschluss schwache Punkte desselben bilden; desgleichen muss bei solchen Bauwerken, die Oberfläche eine besondere Dichte besitzen. Den aus diesen Punkten sich ergebenden Anforderungen wird um so besser entsprochen, je grösser die einzelnen Blöcke gemacht und je vollkommener die Fugen zwischen denselben geschlossen werden. Der Anforderung der Dichte muss man durch erhebliche Vermehrung des Cementantheils in der nach aussen liegenden Seite des Blocks zu entsprechen suchen. Dies ist unschwer ausführbar, während bei Schüttungen, wenn man nur einigermaassen sicher gehen will, bedeutende Schwierigkeiten bestehen.

Im übrigen ist klar, dass sich „Blockbau“ und „Schüttungen“ event. auch zweckmässig vereinigen lassen, z. B. in der Weise, dass man die Aussenseiten einer Mauer, Mole usw. aus Blöcken bildet, hinter welchen man Schüttung ausführt. Hierbei wird die Blockverkleidung die Stelle der sonst vielleicht erforderlichen Schalung vertreten können. Die Schüttung kann durch Stampfen verbessert werden, und es ist der Materialbedarf bis zur untersten Grenze einschränkbar. Grundsätzlich handelt es sich darnach bei dieser Vereinigung um eine sowohl in ökonomischer als technischer Hinsicht vortheilhafte Bauweise.

In der Herstellungsweise stimmen Stampfbeton-Bau und Betonblock-Bau überein. Die Qualität beider ist derjenigen des blos „geschütteten“ Betons überlegen aus dem Grunde, dass der Stampfbeton die grössere Dichte besitzt. Die durch das Stampfen herbeigeführte dichtere Lagerung der einzelnen Massentheilchen bringt eine stärkere Verkittung derselben unter einander mit sich und es ergiebt sich beim Stampfen nebenbei eine genaue Kontrole über die richtige Grösse des Wasserzusatzes. Denn der Austritt von Wasser aus der gestampften Fläche enthält den Beweis, dass die Hohlräume in der Masse sich geschlossen, mithin auch kein überflüssiges Wasser in derselben enthalten ist. —

X. Beton-Bereitung und -Verarbeitung.

Für den Erfolg eines Betonbaues, bezw. die Güte eines aus Beton hergestellten Gegenstandes ist die Sorgfalt, welche auf die Beton-Bereitung und -Verarbeitung verwendet wird, vielleicht der am meisten entscheidende Faktor, und je grösser jene um so besser wird das Ergebniss sein.

Man kann den Gegenstand passend nach Beschaffenheit, Menge und Mischung der Beton-Materialien, so wie die Verarbeitung des Betons unterscheiden, wobei von der besonderen Beschaffenheit des Bindematerials, welche schon in den Abschnitten II und III behandelt ist, abzusehen sein wird.

a) Beschaffenheit der Beton-Materialien.

Um eine feste Verkittung der Bestandtheile unter einander zu erzielen, müssen alle Theile, sowohl das Wasser als der Sand, als das Stein- (Kies-) Material rein sein. Sand, Kies, Geschiebe oder Schotter sind daher event. vor der Verarbeitung zu waschen.

Das Stein-Material zu Beton, bei dem es auf Festigkeit ankommt, darf in seiner Festigkeit nicht hinter derjenigen des angewendeten Cementmörtels zurückbleiben; wo letztere nicht genau bekannt ist, muss sie vorher ermittelt werden.

Bei der im allgemeinen nur geringen Festigkeit, welche Schotter aus Ziegelstein besitzt, bei der geringen Gleichförmigkeit seiner Festigkeit und bei der leichten Verwitterungsfähigkeit, welche Ziegelsteine oft aufweisen, wird Schotter aus Ziegelstein gegen solchen aus natürlichen Steinen und gegen Kies zurückstehen. Es ist bei Ziegelstein-Schotter ausserdem die grosse Wasseraufnahme-Fähigkeit zu beachten, vermöge welcher derselbe dem Mörtel einen so grossen Theil seiner Wassermenge entziehen kann, dass die Festigkeit desselben Schaden nimmt.

Flussgeschiebe haben gewöhnlich eine sehr gerundete und glatte Oberfläche, die für das Verkitten wenig günstig ist. Da auch die Grösse der Stücke meist einen gewissen Grad von Gleichförmigkeit aufweist, stehen Flussgeschiebe hinter Kies sowohl als Schotter aus natürlichen Steinen zurück.

In Kies, aus Flussbetten oder Gruben gewonnen, pflegen alle Korn-Grössen und -Formen vertreten zu sein und gewöhnlich ist auch die Festigkeit der in Kies vertretenen Gesteinsarten eine hohe.

Schotter aus natürlichen Steinen hergestellt, hat die Vorzüge frische und rauhe Bruchflächen, scharfe Kanten bei grosser Mannigfaltigkeit der Formen zu besitzen.

Einzelne Spezialisten sehen die zuletzt genannten beiden Materialien als gleichwerthig an; Andere ziehen Schotter vor, während Andere den Kies bevorzugen. Diese Verschiedenheit der Ansichten beweist wohl, dass im allgemeinen Kies und Schotter als etwa gleichwerthige Beton-Materialien zu betrachten sind.

Im Interesse der Dichtigkeit der Betonmasse liegt es, dass möglichst alle Korn-Grössen und -Formen in derselben vertreten sind. Dabei wird die Bildung grösserer Hohlräume möglichst verhütet, ohne dass zur Füllung derselben — der kostspieligere — Mörtel nothwendig ist. Der Zweck des Mörtels besteht nur darin, die einzelnen Stücke zu umhüllen, so dass jedes Stück mit den benachbart liegenden „satt" in Berührung tritt.

Um der Betonmasse einen gewissen Grad von Gleichmässigkeit zu wahren darf die Grösse der Schotter- oder Kiesstücke nicht über eine gewisse Grenze hinaus gehen. Darnach pflegt wohl festgesetzt zu werden, dass die Grösse der Stücke etwa „Hühnerei-Grösse oder — was darüber etwas hinaus geht — die Grösse des zum Chausseebau dienenden Steinschlags nicht überschreiten soll. Letztere pflegt nach einem Ring von 5,0—6,5 cm Durchmesser bestimmt zu werden, welchen also die grössten Stücke noch passiren müssen.

Wie bemerkt, ist die Festigkeit des Betons durch die Mörtelfestigkeit bestimmt; letztere wiederum hängt von der Sand-Beschaffenheit ab, über die man sich daher zuvor vergewissern muss. Zu den Angaben, welche bereits auf Seite 61 ff. über den Einfluss der Sandbeschaffenheit auf die Mörtelfestigkeit gemacht worden sind, seien hier noch einige weitere Zahlen mitgetheilt, welche den Beweis verstärken von wie sehr grosser Bedeutung die Korngrösse und die Form des Sandkornes sind.

Suchier, Vorstand der beim Tiefbau-Amt zu Frankfurt a. M. bestehenden Material-Prüfungsstation, giebt folgende 28-Tagesfestigkeits-Zahlen von Mörtel, der mit 3 Theilen Sand bereitet war:

1. Bezüglich der Korngrösse.

Feiner Staubsand (Sandstaub)	10	kg/l qcm
Grobkörniger Staubsand (Streusand)	12	„
Feinsand (Verputzsand)	14	„
Normensand	16	„
Gewöhnlicher Grubensand (in allen Korngrössen gemischt)	19	„
Flusssand (scharf und grobkörnig)	21	„
Kiessand (in Erbsengrösse)	23	„
Pochkies (sehr scharf und rein)	29	„

2. Bezüglich der Kornform (Rauhigkeit des Sandes).

Normensand (scharf und eckig)	16	kg/l qcm
Gewöhnlicher Maurersand (rundkörnig)	12	„
Schiefersand (weich)	8	„

Was das Wasser zum Anmachen des Mörtels betrifft, so sind darüber schon auf S. 20, 23, 28 einige Erörterungen angestellt worden, namentlich auch mit Bezug auf die Frage des Einflusses von Seewasser auf Cementmörtel, die für Bauten an der See von grosser praktischer Bedeutung ist. Es kann sich dabei sowohl um den Einfluss handeln, welchen Seewasser ausübt, wenn dasselbe zum Anmachen des Mörtels benutzt wird, als auch um diejenigen Einwirkungen, welchen der mit Süsswasser angemachte erhärtete Cementmörtel im Seewasser nachträglich erleidet.

Es sind vielfache nach verschiedenen Richtungen hin variirte Versuche über den Einfluss von Seewasser, als Anmachewasser benutzt, ausgeführt worden, welche zwar kein eindeutiges Resultat geliefert haben, doch auch keine Ergebnisse, die einen erheblichen Einfluss, sei es im günstigen, sei es im ungünstigen Sinne erkennen lassen. Die Frage ist darum noch nicht allseitig geklärt und wird vielleicht noch lange ungeklärt bleiben, weil dabei, allem Anschein nach, ausser der spezifischen Beschaffenheit des verwendeten Cements auch die Bereitungsweise des Mörtels, dessen

Zusammensetzung, Dichtigkeit usw. eine Rolle spielen. Von besonders zahlreichen und lang ausgedehnten Versuchen, welche der englische Ingenieur Cay[1]) angestellt hat, ist zu bedauern, dass ihre Ergebnisse nicht beweisend sind, weil dabei Mörtel ohne Sandzusatz verwendet ist, weil ferner die Wassermengen anders genommen wurden, als die nebenher laufenden Versuche mit Süsswasser, weil die Probungen nicht über längere als 28tägige Dauer erstreckt worden sind und weil endlich Mr. Cay nur auf Zug-, nicht auch auf Druckfestigkeit geprobt hat. Immerhin mag angeführt werden, dass die Cay'schen Versuche ein dem Gebrauch von Seewasser als Mörtelwasser günstiges Festigkeits-Ergebniss geliefert haben. — Beweisender sind zahlreiche praktische Erfahrungen, welche für ungünstige Einflüsse von Seewaasser oder brackigem Wasser auf den damit bereiteten Cementmörtel einen Anhalt nicht erkennen lassen. Bis auf 20 Monate ausgedehnte Versuche sind beim Triester Hafenbau von Bömches angestellt. Sandproben mit Seewasser angemacht und 20 Monate in der See belassen, nahmen innerhalb 12 Monaten an Festigkeit normal zu und zeigten sich auch nach 20 Monaten vollständig intakt.[2])

Dass auf den mit Süsswasser angemachten Mörtel, wenn derselbe erst nachdem die Erhärtung stattgefunden, in Seewasser verbracht wird, solches Wasser keinen ungünstigen Einfluss übt, wird insbesondere durch Blockbauten aus Beton, welche an verschiedenen Seeküsten ausgeführt sind, sicher erwiesen, und es liefern insbesondere die in den englischen Seehäfen aussergewöhnlich zahlreich vorkommenden, gelungenen Beton-Schüttungen unter Wasser, bei welchen also unerhärteter Mörtel mit Seewasser in Berührung kam, dafür den zweifelfreien Beweis. Im übrigen ist auf diesen Gegenstand mit Bezug auf etwaige Sicherungsmittel noch an späterer Stelle einzugehen.

Das Wasser zum Anmachen des Mörtels muss frei von erdigen und thonigen Bestandtheilen, desgleichen organischen Resten sein, da alle genannten Stoffe die Bindekraft des Mörtels schwächen. Bezüglich des Einflusses einiger besonderen mineralischen Bestandtheile des Mörtelwassers ist auf S. 23, sowie das Protokoll der General-Versammlung des Vereins Deutscher Cementfabrikanten 1892 zu verweisen.

b. Menge der Materialien; Mischungsverhältnisse.

Das Mischungsverhältniss von Beton wird durch die meist übliche Angabe der Einzelbestandtheile in Raumtheilen sehr unbestimmt ausgedrückt; zuverlässig kann dasselbe nur in Gewichtstheilen angegeben werden. Denn es ist zu beachten, dass bei Cement, Sand und Kies (auch Schotter) die Gesammtgrösse der Hohlräume von der Dichte der Lagerung abhängt und diese wiederum von der Grösse und Form des Korns nicht nur, sondern auch von der Form der Messgefässe und der Einschüttungsweise der Materialien in dieselben bedingt ist. Bei Sand und Kies übt auch noch der Feuchtigkeitszustand Einfluss auf das Volumen aus: Trockenheit befördert die Dichte der Lagerung; Feuchtigkeit zieht dieselbe herab.

Ein ungefähres Bild von dem Einfluss der genannten Faktoren geben folgende Zahlen: Es wiegt

1 l	Cement	„eingelaufen“	1,35—1,40 kg
„	„	„eingerüttelt“	1,95—2,00 „
„	Normensand (trocken)	„eingelaufen“	1,40 „
„	„	„eingerüttelt“	1,65 „

[1]) Scott and Redgrave and Grant: On Portlandcement; Excerpt. Min. of Proceed. of the Institutions of Civ.-Engineers. Sess. 1879—80. London 1880.

[2]) Zeitschr. d. Oesterr. Ingenieur- u. Archit.-Vereins 1884.

Bei Verwendung grösserer Messgefässe und namentlich Aufschüttungen zu grösserer Höhe werden — vermöge des Drucks, den die überlagernden Massen auf die unterlagernden ausüben — die Unterschiede zwischen den Einheits-Gewichten, den „eingelaufenen“ und „eingerüttelten“ Massen, sich ermässigen.

Eine weitere Unbestimmtheit in den Angaben über die Zusammensetzung von Beton ergiebt sich, wenn in die Masse nachträglich etwa grössere Steinstücke eingepackt werden, wie es in England vielfach üblich ist. Thatsächlich wird in solchen Fällen der Mörtel in dem Beton „fetter“ sein, als die Verhältnisszahlen angeben, während die Fettigkeit des Betons im ganzen genommen in dem Verhältniss geringer ist, als die zugepackte Steinmenge die Masse vergrössert.

Um richtige Angaben über die Zusammensetzung eines Betons zu erhalten, bezw. um die erforderlichen Einzelmengen der Materialien vorher genau bestimmen zu können, ist die Grösse der Hohlräume in einer bestimmten Menge von Kies oder Steinschlag zu bestimmen, was durch Einfüllung derselben in ein kalibrirtes Gefäss und Zusatz von Wasser geschieht. So gross der Gesammt-Hohlraum, so gross ist der Mörtelbedarf, wenn unbeachtet bleibt, dass in der Kies- oder Schottermasse sich die einzelnen Stücke unmittelbar berühren. Damit dies verhütet werde, vielmehr alle einzelnen Stücke mit einer dünnen Mörtelhülle umgeben sind, so dass sie sich „satt“ berühren, muss zu jener Mörtelmenge ein gewisser Zuschlag gegeben werden, den man zu etwa 15 Procent annehmen kann. Wären, wie es bei einigermassen dichter Lagerungsweise von Kies aller Korngrössen von 5—45 mm der Fall ist, die Hohlräume zu 0,350 ermittelt, so würde man, um satte Berührung der Stücke zu erzielen, als Mörtelmenge bedürfen:

$$0{,}350 + \frac{0{,}350}{100}\,15 = 0{,}350\ (1 + 0{,}15)\ \text{rd.} = 0{,}40,$$

und entsprechend bei:

0,400 Hohlraum 0,400 (1 + 0,15) rd. 0,46,
0,450 „ 0,450 (1 + 0,15) rd. 0,52,
0,500 „ 0,500 (1 + 0,15) rd. 0,58.

Selbstverständlich ist der Zuschlag von 15 Procent nicht für alle Korngrössen passend, weil Oberfläche und Inhalt eines Körpers nicht in gleichem Verhältniss zu- oder abnehmen. Der Inhalt eines Körpers wächst im allgemeinen mit dem Kubus seiner Seitenlänge (bezw. seines Durchmessers), während die Oberfläche im Verhältniss des Quadrats der Seitenlänge bezw. des Durchmessers zunimmt. Daraus folgt, dass mit dem Grösserwerden der Stücke das Verhältniss zwischen Oberfläche und Inhalt eines Stückes immer kleiner wird, Beispielsweise ist bei der Seitenlänge eines Würfels von 1 cm das Verhältniss zwischen Oberfläche und Inhalt desselben = 6, sinkt aber bei der Seitenlänge von 6 auf 1,0 herab; d. h. es würde bei regelmässiger Form der Stücke bei Beton aus Kies mit nur 1 cm grossen Stücken der zur Umhüllung der Stücke erforderliche Zuschlag zur Mörtelmenge 6mal grösser genommen werden müssen, als bei Beton aus Stücken von 6 cm Grösse. Dies gilt freilich nur für Stücke von regelmässiger Würfelform und es ist bei den sehr abweichenden unregelmässigen Formen der Stücke, wie sie im Kies oder Schotter vorkommen, die Grösse der zur Füllung der Hohlräume erforderlichen Mörtelmenge ungleich weniger wechselnd, als diese Zahlen angeben. Bei groben Stücken beträgt dieselbe etwa 0,500, bei aus allen Korngrössen gemischten etwa 0,350; selbstver-

ständlich kamen einzelne Fälle vor, in welchen diese Zahlen nach unter- bezw. überschritten werden.

Die nothwendige Grösse des Cement-Antheils wird erhalten, indem man die Grösse der Hohlräume des Sandes bestimmt und auch dazu, um satte Berührung der Sandkörner herzustellen, einen gewissen Zuschlag macht. Durch Verwendung des so bestimmten Cementantheils würde man, sofern der Beton dicht bleiben soll, die untere Grenze der Magerungsfähigkeit desselben erreicht haben und daher, wenn man jene Cementmenge verringerte, porösen Beton erhalten.[1]) Für gewöhnlich wird über jenen Minimalantheil hinaus gegangen.

Wenn von besonderen Anforderungen, welche ein Beton erfüllen soll, abgesehen wird, erhält man das beste Produkt bei kleinstem Zwischenraum der Materialien. Daher die Regel, dass man gegebenen Falles verschiedene, an sich geeignete Mischungen von Sand, Kies, Schotter machen, für jede den Hohlraum ermitteln und alsdann davon diejenige Mischung wählen soll, welche den kleinsten Hohlraum besitzt.

Mehr Mörtel als zur Ausfüllung der Hohlräume und daneben zur Umhüllung der Stücke erforderlich ist, zu verwenden, ist unökonomisch. Man kann hingegen, wenn der Beton nicht dicht zu sein braucht, die Mörtelmenge etwas beschränken. Wird dann der Mörtel etwas fetter angemacht, so kann die Verminderung der Festigkeit, die in Folge der Verminderung des Mörtelantheils eintritt, durch Vermehrung der Mörtelfestigkeit wieder ausgeglichen werden. Wo also nur Festigkeit des Betons in Frage kommt, kann man diesen Zweck innerhalb gewisser Grenzen mit Beton verschiedener Grade von Festigkeit erreichen und hat die Wahl.

Es ist die Ansicht aufgestellt worden, dass, je grösser der Hohlraum des Kieses usw., je magerer dürfe der Mörtel angemacht werden. Wie diese Ansicht begründet werden könnte, ist nicht recht einzusehen, nachdem durch zahlreiche Versuche bewiesen ist, dass derjenige Beton die höchste Festigkeit ergiebt, in welchem alle Korngrössen vertreten sind, der deshalb den kleinsten Hohlraum hat. Die auf S. 90 ff. mitgetheilten Druckfestigkeits-Zahlen bestätigen jene Ansicht auch nicht.

Zuweilen enthalten Kies oder Geschiebe mehr oder weniger grosse Mengen von Sand beigemischt. Es ist nach Vorstehendem klar, dass es zur nähereren Kenntniss der Zusammensetzung von daraus zu bereitendem Beton nothwendig ist, den Sand abzusieben, die Menge desselben zu bestimmen und ihn erst darnach zur Mörtelbereitung zu verwenden. Eintretenden Falls hat man den Sandantheil im Kies usw. auf diejenige Menge zu vermehren oder zu vermindern, welche der gewollten Festigkeit des Betons entspricht.

Bereits auf S. 91 und 95 ist die Wichtigkeit richtiger Bemessung der Antheile von Sand und Kies im Beton dargelegt worden. Ein zu geringer Sandantheil vermindert die Festigkeit, ein zu grosser ist zwecklos. Eine Verringerung des Kieszusatzes bis zu einer gewissen Grenze hinab ist unökonomisch, insofern als dadurch die Festigkeit nicht vergrössert wird. Es kann aber niedriger Preis des Kieses bei hohem Preise des Sandes Veranlassung geben, mit dem Kiesantheil in die Höhe, mit dem Sandantheil herab zu gehen, selbstverständlich nur innerhalb solcher Grenzen, dass die für den besonderen Zweck erforderliche Festigkeit des Betons

[1]) Wenn nicht die fehlende Dichte durch einen Zusatz von Kalkteig hergestellt wird.

nicht geschmälert wird. In der hier angedeuteten Frage sind Erwägungen von grosser ökonomischer Bedeutung beschlossen. —

Für jede Grösse des Hohlraums kann, wenn über die Zusammensetzung des Mörtels Entscheidung getroffen ist, der erforderliche Antheil von Cement und Sand, wenn die „Ausbeute" an Mörtel bekannt ist, leicht ermittelt werden. Die auf S. 64 mitgetheilte Tabelle giebt die Ausbeute für einige gebräuchliche Mörtelmischungen an. Dieselbe bezieht sich auf sogen. „mauergerechten" Mörtel, dessen Ausbeute — wegen des grösseren Wassergehaltes — grösser ist, als die des — trockneren — Betonmörtels; für solchen wird daher die Ausbeute am besten durch direkte Versuche ermittelt, kann aber auch — jedoch weniger einfach — angenähert durch Rechnung gefunden werden. Ein Verfahren dazu ist, im Heft 24 der „Bauschinger'schen Mittheilungen", aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königl. Technischen Hochschule in München von Stahl ausführlich dargestellt und es sind die Rechnungsresultate in einer Tabelle nebst einer graphischen Darstellung zusammengetragen. Auf diese Quelle muss hier verwiesen werden, und es sei nur andeutungsweise bemerkt, dass das Rechnungs-Verfahren sich auf die Bestimmung der Hohlräume, welche in Sand und Cement bei dichtester — durch Rütteln und Stampfen erzeugten — Lagerung verbleiben, stützt. Um so viel als das Volumen der losen Massen sich bei dichter Lagerung vermindert, um so viel geringer wird das Mörtelvolumen im Vergleich zur losen Masse sein — so lange nicht ein grösserer als der zur Füllung der Hohlräume gerade nothwendige Wasserzusatz verwendet wird. Diejenige Wassermenge, — welche zur Erzielung eines schlank-flüssigen Mörtels — etwa über diese Grenze hinaus, dem Mörtel zugesetzt wird, tritt der Mörtelmasse hinzu, während, wie sich leicht einsehen lässt, durch einen minderen Wasserzusatz zur Mörtelmenge diese nicht vermindert wird, da man einen porösen Mörtel erhält. Nach der angegebenen Berechnungsweise findet Stahl für ungemagerten Mörtel die Mörtelausgiebigkeit zu 90 pCt., beim Mörtel 1 : 1 zu 73,5, beim Mörtel 1 : 3 zu 72,75, beim Mörtel 1 : 5 zu 78,83 und beim Mörtel 1 : 10 zu 84,36 pCt.

Die Ergebnisse praktischer Versuche stimmen indessen, insbesondere wohl wegen der wechselnden „Struktur" von Cement und Sand, nicht genau mit den Rechnungs-Ergebnissen überein,*) so dass die Mittheilung von Erfahrungs-Zahlwerthen über Beton erwünscht ist. Als solche werden hier folgende angeführt:

Prof. Tetmajer gebrauchte zur Herstellung eines satten, mit Schotter angemachten Betons, in welchem der Hohlraum 0,420 betrug:

1 R.-Th. Cement, 1,85 R.-Th. Sand und 4,55 R.-Th. Schotter.

Mit diesem Ergebniss steht die aus vielseitigen Erfahrungen gewonnene Regel nicht ganz in Einklang: Dass satter Beton erhalten wird, indem man den Kiesantheil etwa doppelt so hoch als den Sandantheil annimmt, dass man aber bei Benutzung von Materialien mit grösserem Hohlraum den Antheil letzterer entsprechend verringern muss.

Es würden hiernach etwa folgende Mischungen satten Beton liefern:
1 R.-Th. Cement, 1 R.-Th. Sand, 2 R.-Th. Kies oder 1,5 R.-Th. Schotter.
1 „ „ 1,5 „ „ 3 „ „ „ 2 „ „

*) Vergl. hierzu insbes.: Die Baumaterialien der Schweiz an der Landesausstellung 1883, S. 163 ff.

1	R.-Th.	Cement,	2	R.-Th.	Sand,	4	R.-Th.	Kies	oder	3 R.-Th.	Schotter
1	„	„	2,5	„	„	5	„	„	„	3,75 „	„
1	„	„	3	„	„	6	„	„	„	4,5 „	„
1	„	„	4	„	„	8	„	„	„	6 „	„
1	„	„	5	„	„	10	„	„	„	7,5 „	„
1	„	„	6	„	„	12	„	„	„	9 „	„

Die aus diesen Mischungen sich ergebenden Betonmengen, insbesondere in den fetteren Mischungen, sind um ein paar Prozent grösser als die Kies- bezw. Schottermengen. Wegen der bei der Bereitung und Verarbeitung des Betons entstehenden unvermeidbaren Verluste ist auf dieses Plus aber nicht zu rechnen, vielmehr, um nur auszukommen, noch ein mit der besonderen Beschaffenheit des Falles wechselnder Zuschlag zu geben, auf dessen Grösse weiterhin näher einzugehen ist.

Genauere Angaben über die Ausbeute an Stampfbeton, welcher aus Rheinsand und Rheinkies hergestellt wurde, enthält, nach Ermittelungen in der Cementwaaren-Fabrik des „Heidelberger Portlandcement-Werkes," die nachstehende Tabelle, zu deren Angaben ergänzend hinzuzufügen ist, dass zu den an erster Stelle genannten zwei Mischungen Kies in Korngrössen von 2—4 mm, zu den übrigen Mischungen solcher von 2—15 mm Korngrösse verwendet wurde.

Ausbeute bei Stampfbeton verschiedener Mischungsverhältnisse, bei Anwendung von 2 R.-Th. Rheinkies gemischt mit 1 R.-Th. Rheinsand.

Mischungs-verhältniss	Cement + Sand u. Kies + Wasser giebt ein-gestampfte Betonmasse	Materialbedarf für 1 cbm fertiger Betonmasse	
	Ctr. à 50 kg	Cement Ctr. à 50 kg	Sand u. Kies cbm
1 : 1	1 Ctr. + 36 l + 12 l = 54 l	18,52	0,667
1 : 2	1 „ + 72 „ + 13 „ = 83 „	12,05	0,868
1 : 3	1 „ + 108 „ + 15 „ = 112 „	8,93	0,964
1 : 4	1 „ + 144 „ + 18,6 „ = 141 „	7,09	1,021
1 : 5	1 „ + 180 „ + 22,2 „ = 170 „	5,88	1,059
1 : 6	1 „ + 216 „ + 25,8 „ = 200 „	5,00	1,080
1 : 7	1 „ + 252 „ + 29,4 „ = 231 „	4,33	1,091
1 : 8	1 „ + 288 „ + 33,0 „ = 263 „	3,80	1,095
1 : 9	1 „ + 324 „ + 36,6 „ = 296 „	3,38	1,094
1 : 10	1 „ + 360 „ + 40,2 „ = 330 „	3,03	1,091
1 : 11	1 „ + 396 „ + 43,8 „ = 365 „	2,74	1,085
1 : 12	1 „ + 432 „ + 47,4 „ = 400 „	2,50	1,080

R. Dyckerhoff giebt den Bedarf an Einzelmaterialien und die Ausbeute bei Kies mit 0,350 Hohlraum wie folgt an:

Mischungsverhältniss, Raumtheile			Ausbeute	Bedarf für 1 cbm Stampfbeton			
Cement	Sand	Kies		Cement		Sand	Kies
l	l	l	l	kg	l	l	l
100	200	400	440	318	250	450	900
100	300	600	665	210	150	450	900
100	400	800	885	158	115	450	900
100	500	1000	1125	125	90	450	900
100+100 hydraul. Kalk.	600	1200	1345	105	75	450	900
				Kalk. 45	75		

Vorstehende Zahlen beziehen sich auf stark gestampften Beton. Bei

weniger dicht gestampften und feucht angemachtem Beton ist die Ausbeute grösser und somit der Materialbedarf für 1 cbm Beton geringer als in der Tabelle angegeben.

Anderweitig — nach Angaben von Prof. Hauenschild — werden zu 1 cbm Beton in verschiedenen Zusammensetzungen nur folgende geringeren Gewichtsmengen Cement gebraucht:

Mischungsverhältniss Raumtheile			Cementbedarf	
Cement	Sand	Kies	kg	l
1	1	3	400	286
1	2	3	330	236
1	2	4	280	200
1	2	5	245	175
1	2	6	212	150
1	3	6	185	132
1	3	7	164	117
1	4	9	128	90
1	6	12	93	66

Der Wasserzusatz soll bei den von Hauenschild angegebenen Mischungen höchstens 60 Proz. des Cementgewichts betragen.

Allgemeiner lassen sich, wenn der Hohlraum und die Ausbeute genau bekannt sind, welche eine bestimmte Cementmarke mit einer bestimmten Sandsorte ergiebt, die Mengen der erforderlichen Einzelmaterialien wie folgt berechnen:

Bezeichne M die erforderliche Gesammtmenge des Mörtels (cbm) und betrage der Hohlraum beispielsweise 0,400 M. Sei ferner die Mörtelausbeute (vergl. die Tabelle S. 64) = 0,75 und werde die Gesammtzahl der (Raum-) Theile mit T bezeichnet, während t_1, t_2, t_3 usw. die Zahlen der Einzelbestandtheile sind. Es müssen alsdann die Einzelbestandtheile in der Mischung in dem Verhältniss $\frac{t_1}{T}$, $\frac{t_2}{T}$ usw. vertreten sein. Wenn es sich also um eine Mörtelmischung 1 Cement auf 4 Sand handelt so würde $T = 5$, $t_1 = 1$ und $t_2 = 4$ sein und sich alsdann berechnen:

die Cementmenge $m_1 = \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{0{,}75} \cdot 0{,}400\, M = \frac{1}{3{,}55} \cdot 0{,}400 = 0{,}1127\, M.$

„ Sandmenge $m_2 = \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{0{,}75} \cdot 0{,}400 = 0{,}4507\, M.$

„ Kiesmenge $m_3 \ldots\ldots\ldots 1{,}00\, M.$

Wenn der Mörtelmenge, um „satten“ Beton zu erhalten, 15 Prozent zugeschlagen werden müssten, so würden die betr. Zahlen sich erhöhen auf bezw.:

die Cementmenge $m_1 = 0{,}1127\,(1 + 0{,}15)\, M = 0{,}1296\, M.$
„ Sandmenge $m_2 = 0{,}4507\,(1 + 0{,}15)\, M = 0{,}5183\, M.$
„ Kiesmenge m_3, unverändert $= 1{,}00\, M.$

Aber auch diese Mengen bedürfen noch einen gewissen Zuchlag für unvermeidliche Verluste, die sich bei der Bereitung und der Verarbeitung des Betons ergeben, die jedoch nach der Art der vorhandenen Einrichtungen, der Disposition des Arbeitsplatzes, der Sorgfalt bei der Ausführung der Verarbeitungsweise und mit noch anderen Umständen wechseln. Unter besonders ungünstigen Verhältnissen, z. B. mit Zuführung des Betons zur Verbrauchsstelle auf langen Wegen, oder bei mehrfachen, insbesondere mit Handkarren von den Lagerstellen der Materialien zur Bereitungsstelle

des Betons und von da zur Verbrauchstelle bewirkten Transporten, kann dieser Zuschlag 10 Prozent und selbst darüber erreichen, während bei einigermaassen normalen Verhältnissen 4—6 Prozent ausreichend sein werden. Für den Kies kann man den Zuschlag geringer ansetzen als für Sand und Cement. Unter Berücksichtigung dieser Zuschläge vermehren sich unter gewöhnlichen Verhältnissen die oben berechneten Mengen wie folgt:

die Cementmenge $m_1 = 0{,}1296\,(1 + 0{,}06)\,M = 0{,}1374\,M.$
„ Sandmenge $m_2 = 0{,}5183\,(1 + 0{,}06)\,M = 0{,}5494\,M.$
„ Kiesmenge $m_3 = 1{,}00\,\,(1 + 0{,}04)\,M = 1{,}04\,M.$

Ist der Beton unter Wasser zu schütten, besonders in bewegtem, so reichen die Zuschläge von 6 bezw. 4 Prozent zu der Mörtelmenge nicht aus, sondern müssen erheblich höher gegriffen werden. Auch ist, wie S. 113 erwähnt, eine fettere Mörtelmischung nothwendig und der Mörtelantheil im Beton zu vergrössern. Man kann unter ungünstigen Verhältnissen die Zuschläge beim Cement auf 15, beim Sand auf 10 und beim Kies (Schotter) auf 5 Prozent, den Mörtelantheil auf 0,500 (vergl. S. 111) und die Mörtelmischung zu 1 Cement auf etwa 1,5—2,0 Theile Sand annehmen.

Beispiel 1: Für den Fall, dass die herzustellende Betonmenge $M = 100$ cbm wäre, und es sich um Trockenschüttung handelte, würde man bei 0,400 Hohlraum und der Mörtelmischung 1 Cement 4 Sand bedürfen:

Cement $0{,}1374 \cdot 100 = 13{,}74$ cbm $= 1923$ kg $= 113$ Fass.
Sand $0{,}5494 \cdot 100 = 54{,}94$ rd. 55 cbm.
Kies $1{,}04 \cdot 100 = 104$ cbm.

Beispiel 2: Wenn die Schüttung in bewegtem Wasser auszuführen wäre, ergeben sich für die Mörtelmischung 1 zu 2,5, übrigens nach den Angaben, die auf der vorhergehenden Seite gemacht sind, folgende Rechnungsresultate für:

die Cementmenge $m_1 = \frac{1}{3{,}5} \cdot \frac{1}{0{,}75} \cdot 0{,}500\,M = 0{,}1905\,M.$
„ Sandmenge $m_2 = \frac{2{,}5}{3{,}5} \cdot \frac{1}{0{,}75} \cdot 0{,}500\,M = 0{,}4762\,M.$
„ Kies- (Schotter-) Menge $m_3 = 1{,}00\,M.$

Durch den Zuschlag von 15 Prozent für Umhüllung der Körner usw. vermehren sich diese Mengen wie folgt:

die Cementmenge . $m_1 = 0{,}1905 \cdot 1{,}15\,M = 0{,}2190\,M.$
„ Sandmenge . . $m_2 = 0{,}4762 \cdot 1{,}15\,M = 0{,}5476\,M.$
„ Kies- (Schotter-) Menge, unverändert $m_3 = 1{,}00\,M.$

Hierzu die Verluste von bezw. 15, 10 und 5 Proz., welche beim Bereiten, Transport und durch Ausspülung entstehen können, zugeschlagen, erhöhen sich die Mengen wie folgt:

die Cementmenge . . . . $m_1 = 0{,}2190 \cdot 1{,}15\,M = 0{,}2518\,M.$
„ Sandmenge . . . . . $m_2 = 0{,}5476 \cdot 1{,}10\,M = 0{,}6023\,M.$
„ Kies- (Schotter-) Menge $m_3 = 1{,}00 \cdot 1{,}05\,M = 1{,}0500\,M.$

Für dieselbe Menge Beton von 100 cbm wie oben würde sich darnach unter den vorausgesetzten Umständen der Materialbedarf ergeben wie folgt:

Cement . . . $0{,}2518 \cdot 100 = 25{,}18$ cbm $= 35252$ kg oder 196 Fass.
Sand . . . . $0{,}6023 \cdot 100 = 60$ „
Kies (Schotter) $1{,}05 \cdot 100 = 105$ „

In gleicher Weise wie vor würde die Berechnung für anderweitige Mischungen und abweichende Verhältnisse bei der Bereitung und Verarbeitung des Betons zu führen sein.

In England steht das Verfahren sehr in Uebung, bei nur einiger Dicke von Betonmauern in dem Kern derselben grössere Steinstücke (Findlinge oder Bruchsteine) einzubetten. Dieses Verfahren bietet ein Mittel, die Mengen der Mörtelmaterialien, welche zu einer bestimmten Menge Beton erfordert werden, zu ermässigen, ohne die Mörtelqualität verringern zu müssen. Es leuchtet von selbst ein, dass es erforderlich ist, die eingebetteten Stücke von den Aussenflächen der Mauern einigermassen fern zu halten, sowohl in Fällen, wo die Mauern Biegungsspannungen erleiden, als auch da, wo sie der Gefahr ausgesetzt sind, von mehr oder weniger heftigen Stössen anfahrender Schiffe, Boote oder anderer schwimmender Gegenstände getroffen zu werden. Im ersteren Falle könnte die Elastizität der Mauern, oder auch die Adhäsionsfestigkeit des Mörtels am Stein sich als unzureichend erweisen; im letzteren würde die schwache Betonschicht leicht „abplatzen“. Es besteht ausserdem die Gefahr, dass zwischen den Oberflächen der eingepackten Stücke und der Betonmasse mörtellose Stellen bestehen bleiben, wenn diese Gefahr nicht etwa durch besonderes Einbringen und bezw. Auftragen von Mörtel beseitigt wird.

In jedem Falle vermindern solche Einpackungen die Homogenität der Betonmasse, und dies um so mehr, je grösser sie sind; deshalb ist das Verfahren nicht allgemein empfehlenswerth. Wohl aber kann dasselbe in ökonomischem Interesse sich da empfehlen, wo die betr. Betonkörper nur als ruhende todte Massen zu wirken haben, wie dies bei manchen Mauern in der Tiefe, bei Maschinenfundamenten, bei Schüttungen für Fundirungszwecke usw. der Fall ist. Wo das Auftreten von Spannungen zu erwarten ist, müssen die eingepackten Stücke mindestens um das Maass der grössten Abmessung der Stücke von den Aussenflächen des Betonkörpers entfernt gehalten werden; bei spannungsfrei bleibenden Massen kann diese Beschränkung ausser Acht gelassen werden. —

Der Benutzung sehr magerer Cementmörtel steht auch für Beton zuweilen der Umstand im Wege, dass sie sich bei der sandförmigen Beschaffenheit nur schwer verarbeiten lassen; es fehlt denselben für die Verarbeitung der nothwendige Grad von Zusammenhalt der Theilchen unter einander. Dies gilt bereits für Cementmörtel aus 1 Cement auf 5 Theile Sand, in erhöhtem Maasse für noch magerere Mischungen. Durch einen Zusatz von Kalk sind auch solche mageren Mischungen gut verarbeitungsfähig zu machen. Wegen der passenden Menge des Kalkzusatzes und der zweckmässigsten Zumischungsweise desselben zum Mörtel ist auf S. 66 ff. des Buchs zu verweisen. —

Zu Schüttungen auf beweglichem Grunde empfiehlt sich die Verwendung von rasch bindendem Cement. Dasselbe gilt für den Beton zu Schüttungen an der Seeküste für denjenigen Höhentheil, welcher der Einwirkung von Ebbe und Fluth unterworfen ist. Den stärksten Angriff erleiden hier die beiden Zonen, welche im Ebbe- bezw. Fluthspiegel liegen, indem hier einer steigenden Bewegung des Wasserspiegels unmittelbar die fallende folgt, und umgekehrt.

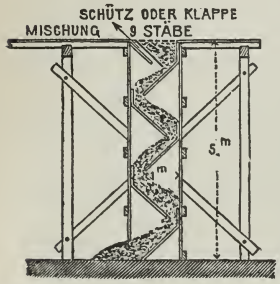
c. Betonbereitung und Verarbeitung.

Die Ansichten über die zweckmässigste Bereitungsweise von Beton sind, gleichwie diejenigen über den vergleichenden Werth der Nass- und der Trockenbetonirung (S. 105 ff.), in der neueren Zeit andere als früher.

Die englischen Techniker pflegten früher bei Trockenbetonirungen regelmässig vorzuschreiben, dass der Beton aus einer gewissen Höhe — die im

Minimum zu 2,5 m angenommen ward — herabgestürzt werden müsse. Diese Anforderung hat vielleicht zu der Einführung der sogen. Fallwerke bei der Betonbereitung den Anlass gegeben: Schächten aus Holz oder Eisen, in denen staffelförmig eine Anzahl schiefer Ebenen mit entgegengesetzter Neigung über einander angeordnet ist, Abb. 26. Die schiefen Ebenen werden zuweilen als Bretterböden, zuweilen auch als Roste aus Rundeisenstäben hergestellt; letztere Herstellungsweise soll bewirken, dass die Kies- oder Schotterstücke beim Hinabrutschen sich wenden und dadurch mit dem Mörtel eine innigere Mischung eingehen. Oben wird der Schacht zweckmässig mit einer Klappe geschlossen, die um eine wagrechte, etwas aus der Mittellinie gerückte Achse drehbar ist, so dass sie leicht „ausgelöst" werden kann. Die Klappe dient als Plattform — Pritsche — auf welcher die Materialien karrenweise ausgestürzt werden, ohne dass eine Durchmischung stattfindet, indem die Mischung nach Auslösung der Klappe beim Hinabrutschen der Materialien im Schachte stattfinden soll.

Abb. 26.



Es ist klar, dass bei den grossen Verschiedenheiten, die in den spezifischen Gewichten und in den Formen der Materialien stattfinden sich sehr ungleiche Fall- (auch Roll- und Gleit-) Geschwindigkeiten ergeben, die einen gewissen Gleichmässigkeitsgrad der Mischung nicht aufkommen lassen und dass hieran auch durch eine Vergrösseruug der Höhe des Fallwerks nichts gebessert wird. Demnach sind Fallwerke sehr unvollkommen arbeitende Apparate, bei deren Verwendung eine nochmalige besondere Durcharbeitung der an ihrem unteren Ende entnommenen Massen nicht entbehrt werden kann um eine innige Mischung der Materialien zu erzielen. Wo letztere unterlassen wird und — wenn das Fallwerk zur Fahrbarkeit eingerichtet ist — der Beton undurcharbeitet an der Stelle liegen bleibt, wo das Fallwerk ausschüttet, wird die Schüttung sich aus einer Anzahl von neben einander stehenden Kegeln bilden, in deren Axe sich die feineren Theile ansammeln, während die gröberen, von Mörtel mehr oder weniger entblössten, sich nach Aussen hin lagern, nach unten hin die groben und gröbsten. Vermöge der Nothwendigkeit einer besonderen Durcharbeitung wird aber der Nutzen des Fallwerks mehr oder weniger illusorisch.

Ob die Hauptanforderung bei der Betonbereitung, d. i. die innigst Mischung der Materialien, durch Maschinenarbeit überhaupt sogut erfüllbar ist wie bei Handarbeit, ist zweifelhaft; jeden falls ist die Wahrscheinlichkeit vorhanden, mit Handarbeit ein technisch vollkommeneres Endresultat zu erreichen, als durch Maschinenleistung. Die Maschinenleistung wird sich den vielen unvermeidbaren Unregelmässigkeiten des Arbeitsfortschrittes nicht so genau anpassen lassen, als Handarbeit; man wird deshalb zu Zeiten Ueberfluss und zu anderen Zeiten Mangel an dem Erzeugniss der Maschinenarbeit haben. Der ungünstigere Fall ist der des Eintretens von Ueberfluss, weil sich dabei die Verarbeitung der hergestellten Massen so weit verzögern kann, dass diese an ihrer Qualität Schaden nehmen. Denn die Grösse eines zulässigen Vorraths ist durch die Abbindezeit des verwendeten Cements unabänderlich — und vielleicht eng — begrenzt. Und wenn selbst auch ein befriedigender Einklang zwischen der Leistung der Maschine und dem Arbeitsfortgange sich beschaffen liesse, so bliebe, wie immer die Konstruktion der Maschine einge-

richtet sein möge, die schon bei dem Fallwerk besprochene Schwierigkeit bestehen, dass es sich bei der Betonbereitung um die Mischung von Bestandtheilen handelt, welche nach Grösse und Form unter sich so sehr verschieden sind, dass sie in zu hohem Grade derjenigen Regelmässigkeit widerstreben, welche jede maschinelle Leistung zur Voraussetzung hat. Es ist endlich der Umstand zu beachten, dass in dem Falle, dass die aus der Maschine getretene fertige Betonmasse noch einen Transport bis zur Verwendungsstelle erfordert, die etwaige Ersparniss an der Maschinenarbeit durch solchen Transport wieder aufgezehrt werden kann, zumal es unthunlich sein wird, den Aufstellungsort der Maschine häufig zu wechseln.

Daher ist, welche Vollkommenheit einzelne Betonbereitungs-Maschinen auch besitzen mögen, insofern man dieselben ausschliesslich nach ihrer technischen Durchbildung beurtheilt, die Ansicht kaum anfechtbar, dass bei Betonbereitung und -Verarbeitung es sich im allgemeinen um Leistungen so sehr individueller Natur handelt, dass den Besonderheiten der Einzelfälle genau entsprechende Resultate eher von Hand- als von Maschinenarbeit erwartet werden können und dass die Oekonomie der Leistung meist eine „offene Frage" bildet. Allerdings finden bei den einzelnen Maschinen-Typen Abstufungen dem Grade nach statt. Es können z. B. die Leistungen von Maschinen, welche mit Hand betrieben werden, den Leistungen qualitativer Art der gewöhnlichen Handarbeit mehr angenähert werden, als die von Maschinen, deren Betrieb auf die Benutzung von Elementarkraft eingerichtet ist. Es kommt ferner dabei sehr auf die besondere Beschaffenheit des Mörtels an: Maschinen welche bei Benutzung nassen, sog. schlanken Mörtels, befriedigende qualitative oder quantitative Leistungen ergeben, können sich wenig gut eignen, wenn sehr magerer oder ziemlich trockener Mörtel benutzt werden muss. Denn je trockener der Mörtel angemacht und je geringer sein Mengen-Antheil ist, um so weniger wird dem Bestreben der Einzelbestandtheile sich zu sondern, entgegengewirkt, da in demselben Maasse die zusammen haltende Wirkung des fetten, in einer gewissen reichlichen Menge vorhandenen feuchten Mörtels fehlt.

Es entspricht dieser Auffassung, dass bei Stampfbeton-Bereitung Maschinen im allgemeinen wenig gut arbeiten, und man hier selbst bei grösseren Ausführungen Handarbeit bevorzugt sieht.

Maschinen zur Trassbeton-Bereitung sind wegen der zähen Beschaffenheit des Trassbetons für Cementbeton-Bereitung nicht leicht geeignet.

Andererseits liegen Erfahrungen vor, dass Mörtel, der auf sogen. Kollergängen bereitet wird, höhere Festigkeiten aufweisen kann, als der von Hand bereitete Mörtel. Diese Thatsache dürfte sich insbesondere aus der Zertrümmerung vieler Sandkörner, die im Kollergange stattfindet, erklären, wobei Bruchflächen entstehen, welche das dichte Aneinanderlegen der Körner und die Adhäsion des Mörtels an denselben vergrössern.

Trotz der Mängel, welche der Beton-Bereitung mit Maschinen anhaften, wird dieselbe in manchen Fällen nicht entbehrt werden können, ja vielleicht technisch bessere Resultate liefern als Handarbeit. Wo es sich um besonders grosse Massen handelt, wie z. B. bei Hafenbauten an der Seeküste, bei Gründungen tief unter Wasser usw., wie auch da, wo die Arbeitszeit beschränkt und die Benutzung des Augenblicks von Werth ist, versagt die Handarbeit, ihrer Langsamkeit wegen, die auch durch „massenhafte" Anstellung von Arbeitskräften nicht überwindbar ist, weil die Möglichkeit fehlt, dieselbe auf einen so engen Ranm zu konzentriren, dass Zwischentransporte

der Massen unnöthig sind. In solchen Fällen vermag allein die Maschinenarbeit ein auch der Qualität nach befriedigendes Ergebniss zu liefern. Beim Hafenbau in Newhaven, wo man mit Sackblöcken bauete, konnte man mit Maschinenarbeit (20 Pferdekr.) in je 20 Minuten 45 cbm Beton fertig stellen, eine Leistung, die mit Handarbeit einfach unerreichbar ist. (Abbildung und Beschreibung der betr. Maschine folgt weiterhin). —

Auf welche Weise die Genauigkeit in dem Mischungsverhältniss der Materialien sicher gestellt wird, ist Sache des besonderen Falles. Auf S. 62 ist mitgetheilt, wie man bei Packungen in Säcken sehr angenähert eine Genauigkeit der Mischungen gleich derjenigen der — allein zuverlässigen — Rechnung nach Gewichtstheilen erreichen kann.

Werden Messgefässe benutzt, so ist es unbedingt nothwendig, dafür zu sorgen, dass die Füllungsweise der Gefässe immer dieselbe sei, damit die Massen immer möglichst dieselbe Dichtigkeit der Lagerung in den Gefässen annehmen. Desgleichen müssen die Messgefässe „abgestrichen" und nicht „gehäuft" benutzt werden.

Auf den Einfluss, welcher Verschiedenheiten in den Mengen des Anmachewassers hervor rufen, ist mehrfach (s. besonders S. 24) hingewiesen worden; doch mögen dazu hier noch einige weitere Bemerkungen Platz finden:

Reichlicher Wasserzusatz zieht zwar die Festigkeit des Mörtels herab; doch befördert derselbe die dichte Lagerungsweise der Theilchen, so dass der trocken angemachte Beton, — wenn nicht Stampfen zu Hülfe genommen wird — weniger dicht ist, als der nass angemachte. Poröser Mörtel, bezw. Beton, gestattet Eindringen von Luft und Wasser, welche, besonders wenn sie unter Pressung eindringen oder verbleiben, schädliche Wirkungen ausüben können. Der Dichtigkeitszustand des Mörtels ist aber ausser von der Mörtelwasser-Menge selbstverständlich von der Form und Grösse, insbesondere der Sandkörner abhängig; grobkörniger Sand liefert weniger dichten Mörtel als feinkörniger, unter Voraussetzung, dass bei beiden die Menge des Bindemittels dieselbe war. Es kann aber bei gleicher Grösse der Gesammthohlräume des Mörtels dessen Verhalten mit Bezug auf eingedrungenes Wasser sehr ungleich sein. Während der grobporige Mörtel solches Wasser einfach siebartig von einer Seite zur anderen durchtreten lassen wird, so dass ein steter Wechsel, eine „auswaschende" Wirkung stattfindet, kann der feinporige Mörtel eingedrungenes Wasser vermöge der durch die dichtere Lage der Körner begünstigten Capillar-Attraktion festhalten — aufspeichern, so lange als dieselbe dem äussern Wasserdruck überlegen ist. Die Wirkung eingedrungenen Wassers, bezw. das Verhalten von porösem Beton gegen Wasserdruck, ist daher, wenn Stampfen unterbleibt, durchaus von der Menge des Anmachewassers und der Kornbeschaffenheit des Sandes abhängig.

Sehr trocken angemachter Beton kann, wenn derselbe mit trockenen Einfassungen (Schalungen aus Holz oder Steinverkleidungen) in unmittelbare Berührung kommt, zu stark austrocknen und dabei an Dichte sowohl als Festigkeit Schaden leiden. Daher muss entweder der in solchen Fällen nach aussen kommende Theil der Betonmasse entsprechend stärker gefeuchtet, oder es müssen die Einfassungen in wassergesättigten Zustand versetzt werden. Die Anfeuchtung des Mörtels aber erfordert Vorsicht, weil einerseits die nach aussen liegenden Theile in der Regel am stärksten in Spannung versetzt werden, während andererseits das über eine bestimmte Masse hinaus zugesetzte Wasser die Festigkeit des Mörtels herabmindern

kann. Hierzu sind folgende, von Suchier ermittelte Zahlen von besonderem Interesse:

Während Mörtel mit 10 pCt. Wasserzusatz (Stampfmörtel) 16 kg Zugfestigkeit ergab, lieferte Mörtel, der mit 15 pCt. Anmachewasser bereitet war (Maurermörtel), nur 10 kg und Mörtel mit 20 pCt. Wasser angemacht (Vergiessmörtel) sogar nur 6 kg Zugfestigkeit. Bei allen drei Probungen wurde Normensand benutzt und überhaupt das Normenverfahren eingehalten (Mörtel 1 : 3 und 4 wöchentliche Erhärtung der Probestücke unter Wasser).

Bei dem sehr grossen Einfluss, den sonach die Wassermenge übt, ist es geboten, bei der Mörtelbereitung auch Vorrichtungen zu vermeiden, welche einer unabsichtlichen Zuführung zu grosser Wassermengen zum Mörtel Vorschub leisten. Dahin gehören z. B. Tröge zum Anmachen, da dieselben das Ablaufen eines etwaigen Wasser-Ueberschusses verhindern. Uebrigens ist die Benutzung von Trögen noch insofern ungünstig, als dieselben die Durcharbeitung der Masse erschweren und als auch in den Ecken und Kanten leicht Reste abgebundenen Mörtels haften bleiben, welche gelegentlich wieder in die frisch bereiteten Mischungen hinein gerathen.

Kies (Schotter) und Sand sind vor der Verwendung anzufeuchten. Wird Schotter aus Ziegelstein benutzt, so muss derselbe vor dem Zumischen mit Wasser gesättigt werden, damit er dem Mörtel nicht das zum Erhärten nothwendige Wasser entziehen kann.

Von grossem Einfluss auf die Festigkeit sind die Mischungsweise und die Zeitdauer, welche auf die Betonbereitung verwendet wird. Hierüber sind von Prof. Tetmajer spezielle Versuche angestellt, welche folgende Druckfestigkeits-Zahlen bei einem Beton geliefert haben, der aus denselben Materialien in gleichem Mischungsverhältniss und mit demselben Wasserzusatz hergestellt war:

	Bei Herstellung des Betons durch direkte Mischung der Materialien	Bei vorangehender Mörtel-Erzeugung und Mischung des Mörtes mit dem Zusatzmaterial	
	Zeitdauer 3 Min.	Zeitdauer 6 Min.	Zeitdauer 15 Min.
kg/qcm	. . . 237	. . 277 . .	. . 288

Die Erlangung des höchsten Ergebnisses bei der längsten Zeitdauer erklärt sich wohl aus der grösseren Vollkommenheit der Mischung, welche in der längeren Zeitdauer erreicht ward.

Bei Bereitung des Betons mit Hand wird am besten eine grosse Plattform (Pritsche) oder zwei kleinere Plattformen benutzt. Auf dieserhalben wird der Sand in dünner aber gleichmässig hoher Schicht ausgebreitet und auf diese — ebenfalls in gleichmässig hoher Schicht — der Cement geschüttet. Hiernach folgt, zunächst trocken, später bei Wasserzusatz mittels Benutzung einer Brause, sorgfältige Umschaufelung der beiden Materialien, mit der so lange fortzufahren ist, bis die Mischung ein gleichmässig dunkles Aussehen erreicht hat, und namentlich hellfarbige Streifungen gänzlich verschwunden sind.

Handelt es sich um Beton für Trockenbetonirung (Stampfbeton und Blöcke) so darf der Wasserzusatz nicht grösser sein, als dass die Mischung etwa Erdfeuchte annimmt, und sich in der Hand noch zusammenballen lässt; jedes Mehr an Wasser kann schädlich wirken. Bei Beton für Nass-Betonirung muss der Wasserzusatz grösser, der Mörtel „schlanker" sein. Denn wenn die Lagerung des Betons sich selbstthätig vollziehen soll, muss

die ganze Masse einen gewissen Beweglichkeitsgrad besitzen — so zu sagen „fliessen" — da, wenn dies nicht der Fall, sich in der Schüttung leicht Hohlräume bilden, zumal dann, wenn beim Versenken eine gewisse Entmischung des Betons stattfindet.

Mittlerweile ist auf einem anderen Theile der Plattform — event. einer zweiten Plattform — der Kies oder Schotter ebenfalls in dünner, gleichmässig hoher Schicht, ausgebreitet worden. Auf dieser Schicht wird der Mörtel vertheilt und alsdann die Masse sorgfältig durchgearbeitet; jedenfalls muss 2—3 malige Umschaufelung stattfinden.

Abweichend hiervon wird in dem Falle verfahren, dass Sand und Kies in natürlicher oder künstlich hergestellter Mischung vorhanden sind. Alsdann wird der Cement trocken zugesetzt und erst nachher, während des Umschaufelns, die Annässung mit Brause bewirkt.

Beschränkte Grösse des Bauplatzes kann Veranlassung sein, auch in der Weise zu verfahren, dass man die „Zweistufigkeit" bei der Bereitung aufgiebt und alle Materialien auf einmal durcheinander mischt. Doch ist dies Verfahren gegen das zweistufige im Nachtheil. (S. vorhergehende Seite.) —

Wenn es aus besonderen Gründen nothwendig ist, sehr trockenen Beton zu benutzen, so wird es sich empfehlen, den Kiesantheil zu vermindern, den Sandantheil zu erhöhen. Die Masse wird dabei etwas beweglicher, so dass die Gefahr der Entstehung von Hohlräumen sich verringert. —

Bei der Verbringung des Betons an die bestimmte Stelle der Verarbeitung muss eine Transportweise vermieden werden, welche die Sonderungen der gröberen Stücke von den kleineren und von dem Mörtel begünstigt. Dies ist z. B. bei Transport mit Kippwagen und in allerdings geringerem Grade auch bei Handkarren der Fall, da bei Benutzung beider Transportgeräthe, sei es die ganze Betonmasse, sei es ein Theil derselben, eine gewisse Fallhöhe durchsinken muss. Durch vorsichtiges Arbeiten lassen sich aber erfahrungsmässig Schädigungen der Beton-Qualität durch solche Transportweisen wohl vermeiden. Muss die eine oder andere derselben gewählt werden, so sind beim Ausbreiten der Masse die etwa heraus getretenen Stücke immer wieder sorgfältig mit einzupacken.

Vorzuziehen, aber allerdings auch kostspieliger und bei Schüttung grosser Massen unzureichend ist der Transport in Handmulden.

Was die Höhe der einzelnen Schichten betrifft, in denen der Beton aufgebracht wird, so kommt dabei Folgendes in Betracht: Die Schüttung hoher Schichten ist günstig für den Unternehmer, was den Kostenpunkt betrifft und es ist bei derselben auch die Anzahl der Trennungsflächen verringert. Die Schüttung sehr niedriger Schichten vertheuert die Arbeit und vermehrt die Anzahl der Trennungsflächen. Bei sehr hohen Schichten ist aber die Wirkung des Stampfens gering, da sie sich bei der Starrheit der Masse nur bis zu mässiger Tiefe erstreckt; sie kann aber bei einem gewissen Flüssigkeitszustande des Mörtels direkt schädlich sein, indem sie eine Verschiebung der flüssigen Massen und dadurch die Entstehung gesonderter Lagen, in denen Verschiedenheiten der Mörtelmengen bestehen, mit sich bringt. Bei niedrigen Schichten wird hingegen die Wirkung ein sehr vollständige sein. Aus diesem Für und Wider folgt die Zweckmässigkeit der Herstellung von Schichten von mittlerer Höhe.

Als genügende Schichthöhen werden von Einigen 10—30, von Anderen

etwa 30 cm bezeichnet. Man wird danach annehmen können, dass etwa 20—25 cm eine passende Schichthöhe sein werden.

Die Oberfläche einer Schicht bildet bei nicht sorgfältiger Arbeit eine Sonderungsfläche in dem Betonkörper. Der Schaden, welcher dadurch entstehen kann, wird um so grösser sein, je grösser die Ausdehnung der Fläche ist. Hieraus folgt, dass es zweckmässig ist, die Schichten nicht in grosser Ausdehnung zu bilden, vielmehr häufig Absätze einzulegen, wodurch die Kontinuität der Sonderungsfläche unterbrochen wird. Das Einlegen zahlreicher Absätze empfiehlt sich ausserdem dann, wenn bis zum Aufbringen einer neuen Schicht, einige Zeit verfliesst, während welcher die verarbeitete Betonmasse in der Erhärtung weit fortschreitet, in der Oberfläche Risse entstehen können, oder dieselbe verschmutzt wird.

Die Oberfläche einer Schicht soll rauh sein; wenn diese Fläche beim Stampfen glatt geworden ist, muss sie künstlich wieder rauh gemacht werden, bevor der Beton hart geworden ist.

Wird innerhalb der Zeitdauer von etwa 24 Stunden eine folgende Schicht aufgebracht, so genügt es die Fläche mit einem scharfen (Draht-) Besen abzukehren. Bei längerem Liegen ist die Fläche sorgfältig zu waschen, um alle Unreinlichkeiten (Sand usw.) zu entfernen. Einzelne Spezialisten halten es für zweckmässig, alsdann die Fläche mit Cementpulver zu bestreuen oder auch mit sehr dünflüssigem Mörtel zu wässern und empfehlen, bei grösserer Länge des Zeitraums, welcher bis zum Aufbringen einer weiteren Schicht verfliesst, in die Fläche der Länge nach eine Nuth einzuhauen, jedenfalls die Fläche scharf aufkratzen zu lassen; auch darnach ist dieselbe mit Drahtbesen abzukratzen.

Es ersieht sich auch hieraus, dass Raschheit bei der Verarbeitung des Betons zur Güte eines Betonbaues wesentlich beiträgt.

Dem Ausbreiten der Betonmasse in Schichthöhe muss das Stampfen unmittelbar folgen; dasselbe darf nicht unnöthig lange fortgesetzt werden, weil sonst Störung des Abbindens erfolgt und Entmischung der Mörtelmaterialien stattfindet. Letztere Gefahr liegt um so näher, je grösser der Wasserzusatz zum Mörtel genommen ist, je leichter beweglich also die Theile desselben sind.

Ausser dass das Stampfen des Betons den Zweck erfüllt, die Erhärtung durch das dichtere Zusammenlagern der Theilchen und die dadurch bewirkte Vergrösserung der Anziehungskräfte zu unterstützen, dient dasselbe als Mittel um den Beton dicht zu machen und endlich als Kontrolmittel für die Richtigkeit des Wasserzusatzes. Das Erscheinen von Wasser auf der gut gestampften Fläche kündet den richtigen Zeitpunkt für das Aufhören der Stampfarbeit an und beweist auch, dass der Wasserzusatz in zutreffender Höhe gegeben war.

Je einfacher die Form des Betonkörpers, je wirksamer und je gleichmässiger ist die Wirkung der Stampfarbeit. Wenn die Form verwickelt und auch wenn sie enge ist, fällt die Wirkung des Stampfens leicht ungleich aus. Es wird namentlich nach den Aussenseiten hin weniger Dichte als in der Mitte der Masse erzielt. Von den nach Aussen liegenden Theilen der Masse wird aber die grösste Leistung verlangt und sie sollten daher besonders dicht sein. Es ist deshalb auf das Stampfen der äusseren Flächentheile ein besonderes Augenmerk zu verwenden und es sind auch alle Hindernisse, die sich der vollen Wirksamkeit des Stampfens hier entgegen stellen, zu beseitigen. Hinderlich können insbesondere grössere Steine oder Schotterstücke sein, welche in den Aussenflächen der Masse sich finden und es ist daher auch aus diesem Grunde die Verwendung

grösserer Stücke in den Aussentheilen von Betonmassen sorgfältig zu vermeiden.

Von Bedeutung für die Wirksamkeit des Stampfens sind auch Material, Grösse, Form und Schwere der Stampfer. Sie werden 10—15 kg schwer gemacht, entweder ganz aus Eisen oder aus Holz mit Eisenbeschlag der Arbeitsfläche; in letzterem Fall wird die Grösse dieser Fläche zu etwa 20 × 20 cm angenommen. Bei ganz eisernen Stampfern nimmt man 12 × 12 bis 15 × 15 cm Seitenlänge der Stampferfläche. Selbstverständlich muss diese Grösse in einem gewissen Verhältnisse zur Grösse der Betonfläche stehen; doch ist es eine Anforderung allgemeiner Art, dass die Fläche nicht so klein sei, dass der Stampfer tiefe Eindrücke macht und sich Ränder bilden. Das mögliche Eintreten solcher mit der Zusammensetzung der Materialbeschaffenheit und dem Feuchtigkeitszustande der Betonmasse in Zusammenhang stehender Vorgänge macht den Vorrath einer Anzahl Stampfer von wechselnder Schwere und Grösse bei jedem Betonbau von einiger Erheblichkeit nothwendig.

Wenn die Arbeiten sehr umfangreich sind, ist es ökonomisch vortheilhaft, zum Stampfen des Betons anstatt der theuren Handarbeit Maschinenarbeit zu benutzen. Dies ist bei dem Bau des neuen Freihafens zu Bremen geschehen, wo man die in Fig. 27 dargestellte Stampfmaschine benutzt hat. Auf einem hölzernen fahrbaren Gestell ist eine Daumenwelle gelagert, welche mittels Handkurbel und Vorgelege durch 4 Mann in Drehung gesetzt wird und an der drei Stampfer hängen, welche nach einander gehoben werden und fallen. Das Vorgelege ist auch mit einer der beiden Laufachsen des Gestelles so in Verbindung gebracht, dass nach einer gewissen Anzahl von Schlägen der Stampfer das Gestell um nahezu eine Stampferbreite (35 cm) sich selbstthätig weiter bewegt. Das Fallgewicht der Stampfer wechselte zwischen 60 und 120 kg bei 0,2 bis 0,4 qm Stampferfläche. Diese Fläche ist wellenförmig angeordnet, um zu verhüten, dass der Beton unter dem Druck der Stampfer seitlich ausweiche; zu noch mehrerer Sicherheit sind Stampfer und Stiele durch ein Gelenk verbunden. (Das bei zuerst angewandten Stampfern mit ebener Unterfläche beobachtete seitliche Ausweichen der Masse muss wohl der aussergewöhnlichen Magerkeit des Betons (1 Th. Cem. nnd 10 Th. grobkörniger Sand) wie auch der Anwendung eines sehr geringen Wasserzusatzes zugeschrieben werden). Die Schichtenhöhe betrug 30 cm und jeder Theil der Oberfläche erhielt (bei 5 maligem Hin- und Hergange des Gestells) 10 Schläge des Stampfers;

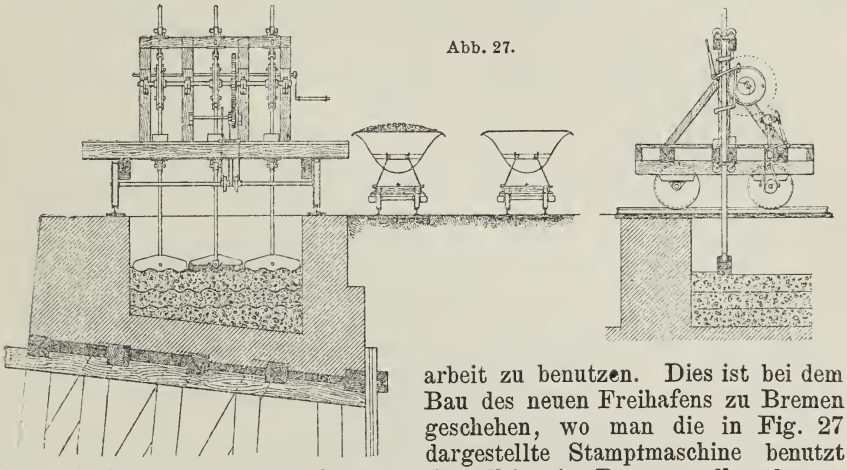


Abb. 27.

dabei wurde die Schicht auf etwa 25 cm Höhe zusammengepresst. Die Festigkeit des so erzielten, sehr mageren Betons steht nach einer Angabe in unserer Quelle[1]) der eines „mittelmässigen Sandsteins“ nicht nach. Diese Festigkeit wird aber kaum ausgenutzt, da der Beton nur als Füllmaterial für grosse Mauerwerks-Aussparungen in den Kaimauern dient.

Auf die Nothwendigkeit des Schutzes von Beton gegen Austrocknung und event. wiederholte Befeuchtung während der ersten Wochen nach der Herstellung ist bereits wiederholt aufmerksam gemacht worden. Bei Gegenständen, welche im Freien der Austrocknung durch Sonne und Wind ausgesetzt sind, genügt öftere Befeuchtung noch nicht; vielmehr ist Abdeckung mit einer Sandschicht und Feuchthalten derselben erforderlich.

Den höchsten Anforderungen was Zusammensetzung, Bereitungs- und Verarbeitungsweise betrifft, hat Beton zu entsprechen, welcher sowohl hohe Festigkeit als Wasserdichtigkeit besitzen muss. Dies ist der Fall z. B. bei Wasserreservoiren, Gasbehälter-Bassins und anderen zur Aufnahme von Flüssigkeiten bestimmten Bassins verschiedener Art, wie sie in manchen Industrie-Betrieben benutzt werden. Desgleichen bei Kanälen und Röhren für unterirdische Entwässerungsanlagen, bei Schleusen- und Trockendock-Böden, bei Keller-Fussböden, bei Beton-Gewölben unter Erdschüttungen und noch sonstigen Baugegenständen. Daneben laufen Fälle her, in denen die Festigkeit eine geringere, Wasserdichtigkeit eine grössere Rolle spielt. Es ist hier z. B. an Bauten sehr massiger Art, wie z. B. Kai- und Ufermauern, Hafenmolen usw. zu denken.

Hohe Festigkeit des Betons ist — abgesehen von der nothwendigen Menge des Bindemittels — nur durch Zuhilfenahme von Stampfarbeit zu erzielen, während zur Herstellung von wasserdichtem Beton je nach Lage des Falles verschiedene Wege eingeschlagen werden können.

Wegen der Nothwendigkeit für das „Arbeiten“ des Betons — d. h. die aus Ursachen chemischer und physikalischer Art hervorgehenden Volumenänderungen[2]) — den nöthigen Spielraum in der Masse selbst zu belassen[1]), laufen die beiden Anforderungen: hohe Festigkeit und Wasserdichtigkeit, sich bis zu gewissem Grade entgegen, weshalb es nothwendig ist, beiden Anforderungen zu einem gewissen Theile in besonderer Weise gerecht zu werden. Entsprechend wird bei Gegenständen, für welche die nöthige Festigkeit in der Wandstärke, sowie der Mörtel-Mischung und -Verarbeitung geschaffen ist, die Wasserdichtheit derselben durch Auftragen eines

[1]) Franzius usw. Neuer Hafen zu Bremen, eröffnet im Jahre 1888, S. 68.

[2]) Auf die Grösse solcher Volumenänderungen kann aus Beobachtungen geschlossen werden, welche der französische Ingenieur Fèret über die Durchlässigkeit von Mörtel aus 1 Gew.-Th. Cement und 5 Theilen feinen Sandes, welcher mit wechselnden Mengen von Wasser angemacht ward, angestellt hat. (Vergl. Bamber and Carey usw. S. 139). Diese, zum Zweck der Ermittelung des vermutheten Einflusses der Mörtelwassermenge auf die Wasserdurchlässigkeit von Cementmörtel (ohne Benutzung von Wasserdruck) angestellten Versuche lieferten das — wohl unerwartete — Ergebniss, dass grosse Unterschiede, welche sich in den ersten zwei Tagen zeigten, schon innerhalb weniger Tage beinahe zum Ausgleich kamen, wie folgende Zahlen erweisen:

Wasserantheil im Mörtel: Gewichtsprozente.	Durchgetretene Wassermengen in ccm	
	während der ersten 2 Tage.	am 5. Tage.
9	2225	26
12	161	26
15	19	19
18	58	19
21	65	19
24	65	19

Die während der ersten 2 Tage sich zeigenden Unregelmässigkeiten erklären sich wohl ausreichend aus gewissen Ungleichheiten der Dichte der Probekörper, welche bei geringem Wasserzusatz ja leicht stattfinden.

Ueberzuges oder Putzes von geeigneter Mörtelmischung hergestellt. Der Sand muss dazu meist mit besonderer Sorgfalt ausgewählt werden, sowohl rein sein als auch viele feine Körner enthalten; wo letztere fehlen, kann man durch einen geringen Zusatz von Kalkmilch Ersatz schaffen. In 1—2 Lagen wird eine im ganzen etwa 10—15 mm dicke Putzschicht aus Mörtel, 1 Th. Cem. auf 1—2 Th. Sand, aufgetragen nachdem die betr. Fläche vorher gut gereinigt, event. auch gerauhet war und mässig fest mit hölzernem Reibebrett abgerieben. Wenn die oberste Schicht abgebunden hat, erhält dieselbe noch einen dünnen Ueberzug aus Mörtel ohne Sandzusatz, welcher nur mit Falzbrett geglättet wird. Das Glätten dieser Schicht mit Stahlkelle, welches vielfach üblich ist, ist zu verwerfen, weil so geglätteter Putz, namentlich bei trocknem warmem Wetter hergestellt, leicht rissig und blasig wird; in jedem Falle ist das Glätten mit Stahlkelle unnöthig.

Ein Putz in der beschriebenen Weise hergestellt, leistet einer Wassersäule von sehr grosser Höhe erfolgreich Widerstand, wie durch praktische Erfahrungen und durch Sonderversuche erwiesen ist. Stark durchlässiger Beton, mit einer nur 3 mm dicken Schicht aus Cementmörtel ohne Sandzusatz bedeckt, liess selbst bei einer Wassersäule von reichlich 9 m Höhe kein Wasser durchtreten.[1])

Anstatt die Wasserdichtheit nur an der Oberfläche zu beschaffen, kann man auch der Masse selbst einen gewissen Grad von Wasserdichtigkeit dadurch verleihen, dass man dem Mörtel eine gewisse Menge von hydraul. Kalk zumischt, wie es im übrigen immer zweckmässig sein wird, wenn die Mörtelmischung sehr mager ist. Die passende Grösse des Kalkzusatzes ist an mehreren anderen Stellen des Buchs angegeben worden.

Günstigere Resultate werden erzielt, wenn man, unter Beibehaltung des Zusatzes von Kalk für den Kern der Masse, die nach aussen liegenden Theile derselben bis zu gewisser Tiefe durch Verwendung eines Betons von grösserer Dichte gegen das Eindringen bezw. Durchtreten von Wasser sichert. Bei Gegenständen, welche in Formen hergestellt werden, wird diese ungleiche Zusammensetzung der Masse durch einen sogen. Vorguss erzielt. Beton für solche Zwecke darf nicht sehr nass angemacht werden und muss Sand aller Korngrössen enthalten, doch vorwiegend feinen scharfen Sand, der die Dichtigkeit sehr befördert (vergl. S. 133); die Mörtelmischung muss 1 : 2,0 oder höchstens 1 : 2,5 sein.

Eine Ausführungsweise wie die letztangegebene ist z. B. für Uferwerke, Molen usw., welche heftigem Wellenschlag ausgesetzt sind, nothwendig, wenn dem Wasser das Eindringen in's Innere der Masse auf die Dauer versperrt bleiben soll. Der Druck der Wellen kann weit über statische Drücke, selbst bedeutender Grösse, hinausgehen und daneben kommen die damit verbundenen Erschütterungen, die immerwährende Dauer des Vorganges, die reibenden Wirkungen des vielleicht sandführenden Wassers in Betracht. Damit können diese Ursachen sehr bedeutende und unerwartete Folgen hervor rufen, gegen welche die höchste Vorsicht geboten ist, und die namentlich zur Anwendung aller Mittel herausfordern, durch welche dem Wasser die Gewinnung auch nur des kleinsten Zugangs zum Innern der Masse verlegt oder erschwert wird. An den Hafenwerken zu Aberdeen sind Zerstörungen vorgekommen, für welche man nach den darüber angestellten Ermittelungen[1]) vorwiegend, wenn nicht einzig — die zu geringe Dichte des verwendeten Betons verantwortlich machen darf. Wenn über-

[1]) Bamber and Carey, On Portland-Cement and Smith, On Portland-Cement Concret. Exe. Min. of Proseed. of the Inst. of Civ.-Engineers Sess. 1891/92. London 1892.

haupt, so kann in diesem besonderen Falle die Beschaffenheit des Cements und dessen Verhalten dem Seewasser gegenüber nur nebensächlich in Frage kommen.

Aehnliches wie hier gilt von Beton-Massen, welche (wie die in Röhren oder Behältern für Säure, Oele und noch sonstige Flüssigkeiten) unter Umständen zerstörende Wirkungen auf Cement ausüben können. Diese Wirkung wird ganz aufgehoben oder doch wesentlich eingeschränkt, wenn die Flüssigkeiten nur die Oberfläche berühren aber nicht in die Masse des Betons eindringen. So kann nach den Ergebnissen angestellter Proben der — poröse — Mörtel 1 Cement, 3 Sand durch fettes Oel vollständig zerstört werden, während der dichte Mörtel 1 Cement, 1 Sand unangegriffen bleibt, ja selbst Probekörper in solches Oel gelegt, einen regelmässigen Fortschritt in der Erhärtung aufweisen.[1])

Betonblöcke sind in der früheren Zeit zuweilen durch Aufmauerung geformt worden, ein Verfahren, welches später jedoch ganz verlassen zu sein scheint, besonders wohl aus dem Grunde, dass dasselbe die Herstellungskosten wesentlich vergrössert, ohne die Sicherheit dafür, dass Hohlräume vermieden werden, oder dass ein besseres Erzeugniss entsteht, zu vermehren. Denn eine geringe Ersparniss, die in der Mörtelmenge erzielt werden kann, wird dadurch wieder aufgewogen, dass man zur Mauerung Steine von einigermassen regelrechten Form, „lagerhafte" Bruchsteine bedarf.

In der Mitte zwischen „Aufmauern" und „Schütten" von Blöcken steht dass Verfahren in die Betonmasse grössere Stücke einzupacken (vergl. S. 130), bei welchem die Blöcke am billigsten werden. Wo nicht besonders hohe Qualität derselben gefordert wird, oder wo man den Blöcken die zur Erreichung der vollen Endfestigkeit erforderliche Lagerzeit gewähren kann, wird sich — einige Grösse der Blöcke vorausgesetzt — das Einpacken gröberer Stücke in die Blöcke empfehlen.

Hinsichtlich der Bereitung des Betons für Blöcke finden alle für Stampfbeton oben gegebenen Regeln Anwendung. Bei der regelmässigen Form der Blöcke ist die Wirkung des Stampfens gerade bei ihnen von besonders gutem Erfolg und das Unterlassen derselben, wie es früher vereinzelt wohl geschehen ist, ein Fehler: Blöcke, welche heftigem Angriff der Wellen ausgesetzt sind, müssen in den frei liegenden Flächen möglichst dicht und mit sorgfältig ausgewähltem Sand, auch mit fetter Mörtelmischung und mit geringerem Kieszusatz hergestellt werden.

Hinsichtlich der Grösse der Blöcke ist auf S. 74 erwähnt worden, dass bei der ersten Anwendung von Blöcken in der neueren Zeit (1834) man sogleich mit etwa 10 cbm grossen Blöcken begonnen hat. Ueber diese Grösse — die bei mehreren Hafenbauten, z. B. Marseille (welcher Bau 1856 begann), Aberdeen und Colombo noch nicht überschritten wurde, ist man später mehrfach weit hinausgegangen. Es wurden z. B. verwendet:

beim	Hafenbau	in Cette.	Blöcke	von	12	cbm	Grösse
„	„	auf den Canarisch. Inseln dsgl.	„	„	13	„	„
„	„	in Boulogne	„	„	5—14	„	„
„	„	„ Port Vendres	„	„	15	„	„
„	„	„ „ Elizabeth	„	„	7—17	„	„
„	„	„ Bilbao	„	„	30—50	„	„
„	„	„ Brest	„	„	45	„	„
„	„	„ La Rénion	„	„	bis 50	„	„

[1]) Vergl. hierzu insbes. Protokoll der General-Versammlungen Deutscher Cementfabrikanten 1889 und 1892, sowie ferner die auf S. 139 angeführte Veröffentlichung der englischen Institution.

während andererseits bei dem in den 70er Jahren vollendeten Hafenbauten zu Ymuyden nur kleinere Blöcke von etwa 5 cbm Grösse zur Verwendung kamen.

Die Einzelheiten bei der Formung der Blöcke können verschieden geordnet werden. Bei den Formkästen muss Steifigkeit der Wand mit Handlichkeit zusammentreffen, Anforderungen die sowohl in Holz- als Eisenformen erfüllt sein können, in den letzten jedoch meist am einfachsten.

Da Blöcke von besonderer Grösse am bequemsten auf Flössen transportfähig sind, hat man dieselben vereinzelt auch an Uferstellen auf Flössen oder auf Plattformen hergestellt, welche nur bei Ebbestand trocken lagen; man benutzte später die Fluth um sie an Ort und Stelle zu flössen. Dies bequeme Verfahren wird aber uur sehr selten anwendbar sein, weil es für die Formung und einen darauf folgenden längeren Zeitraum ruhiges Wasser voraus setzt. Die Regel bildet daher die Formung der Blöcke am Lande, wobei die Einrichtung verschieden sein kann, je nachdem die Bereitung ihre Stelle wechselt, oder beibehält. Ist ersteres der Fall so wird der Beton in die jeweils in unmittelbarer Nähe bereit stehenden Formkasten eingefüllt, während wenn die Bereitungsstelle des Betons unveränderlich ist, man Transport-Vorkehrungen — Schienengleise, bezw. auch sogen. Luftbahnen mit Wagen oder Fördergefässen — braucht. Zweckmässigerweise wird man die Betonbereitungsstelle so hoch legen, dass die Wagen- oder Fördergefässe selbstthätig gefüllt werden, während es von der Form und Ausdehnung des Lagerplatzes der Blöcke abhängt, ob die Füllung der Formkästen „direkt“ erfolgen kann, oder ob dazu noch die Vermittelung eines Laufkrahns erforderlich ist, welcher die herzugeführten Betonbehälter aufnimmt, über die Formen bringt und entleert. In jedem Falle bedarf man selbst bei nicht grosser Menge der Blöcke für die Blockbereitung einen verhältnissmässig grossen Lagerplatz, da die Blöcke zum Erhärten längere Zeit gebrauchen. Je nach Witterungs-Verhältnissen und nach der Betonmischung sind 2—4 Tage erforderlich, bis die Form abgenommen werden kann, während bis zur „Reife“ der Blöcke je nach Witterung, der Zusammensetzung und den Ansprüchen an die Leistung der Blöcke $1^1/_2$ bis 6 Monate nothwendig sein können. Durch die erforderliche Erhärtungsdauer der Blöcke und den während eines kürzeren Zeitraums (etwa eine Woche) erforderlichen Verbrauch an Blöcken ist die Kleinstgrösse des Lagerplatzes festgelegt.

Das Erforderniss einer langen Erhärtungsdauer kann, wenn der Raum in der Nähe der Arbeitsstelle beschränkt ist, während es anderweit in einer gewissen Entfernung an Raum nicht fehlt, Veranlassung sein, die Blöcke schon bevor sie die volle Härte erreichen, auf einen zweiten entfernt liegenden Lagerplatz zu bringen. In dieser Weise wurde z. B. beim Bau des Hafens von Ymuyden verfahren, wo man nach 4—6tägigen Erhärtungsdauer die Blöcke zu einem (Zwischen-) Lagerplatze schaffte. Hohe Aufstapelung der Blöcke in mehreren Schichten über einander ist der Güte der Blöcke schädlich.

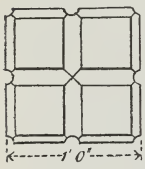
Vereinzelt sind Blöcke als gefässartige Körper hergestellt worden um sie schwimmfähig zu machen und so den Transport wie die Versenkung (bei Fundirungen) zu vereinfachen. Derartige Beispiele liegen aus sehr früher Zeit aus Hamburg vor, aus späterer aus Dundee. In beiden Fällen handelt es sich, so viel bekannt, um Gründungen an tiefem Wasser. Ueber die Gebrauchsfähigkeit des Verfahrens sind die Ansichten getheilt, vorwiegend ungünstig, was sich wohl aus den Schwierigkeiten weclhe die Versenkung an richtiger Stelle bereitet, erklärt; bei nur

etwas bewegtem Wasser sind besondere Versenk-Vorrichtungen nicht zu entbehren, und können selbst dabei die Schwierigkeiten gross sein. Der Betonbau an sich besitzt aber durch seine leichte Formungsfähigkeit eine bosondere Eignung gerade für diese Verwendungsweise.

Von ziemlicher Bedeutung sowohl für die Dichtung der Fugen in dem aus Blöcken hergestellten Mauerkörper, wie für das Versetzen der Blöcke sind gewisse Einzelheiten der Formgebung.

Wenn die Blöcke klein sind, wird die Fugenweite gering sein; mit der Grösse derselben wird wegen der unvermeidbaren Ungenauigkeiten der Flächen, sowie wegen der Volumen-Veränderungen die Fugenweite zunehmen. Bei offenen Fugen beruht der Zusammenhalt des Blockbauwerks nur auf dem sogen. Verband, der durch Ineinandergreifen der Steine mit einfacher Nuth oder mit Schwalbenschwanz verstärkt werden kann. Wo die Blöcke nicht durch ihr Gewicht allein widerstandsfähig gegen äussere Kräfte sind, muss der Zusammenhalt durch Mörtel verstärkt werden. Bei Arbeiten über Wasser bei geringer Grösse der Blöcke ist dies leicht zu bewirken, während es bei grossen Blöcken Schwierigkeiten verursachen kann. Hier wird statt der „satten“ Versetzung der Blöcke in Mörtel das viel weniger sichere nachträgliche Vergiessen der Fugen mit Mörtel nicht vermeidbar sein. Um den erreichbaren Grad von Sicherheit dafür zu schaffen, dass der Gussmörtel zu allen ihm offen stehenden Stellen Zutritt erlangt, ist Brechen der Kanten und Einlegen von halbrunden Nuthen in alle Flächen des Blocks vorgeschlagen worden, etwa nach Abb. 28 oder in anderer, ähnlicher Weise. Der Vergussmörtel darf selbstverständlich nur wenig Sandzusatz erhalten.

Abb. 28.



Bei Blöcken geringer Grösse können die — durch Einlegen entsprechender Hölzer in die Form gebildeten — Nuthen auch gleichzeitig dem Zwecke des Einschlingens der Blöcke in Ketten behufs des Hebens und Versetzens dienen. Näheres hierzu folgt weiterhin.

d. Mörtel- und Betonbereitungs-Maschinen.

Wesentliche Gesichtspunkte für die technische Durchbildung dieser Maschinen sind sowohl die besonderen Anforderungen, welche an die Beschaffenheit des Endprodukts gestellt werden (poröse oder dichte, magere oder fette Mischung), als auch der Umstand, ob nach der Beschaffenheit des Baues grosse Mengen von Mörtel oder Beton an einer und derselben Stelle gebraucht werden, oder ob die Verwendungsstelle im Laufe der Ausführung wechselt. Ferner noch ist dafür die Höhenlage des Arbeitsplatzes im Vergleich zur Höhenlage der Verwendungsstelle von Bedeutung: denn es werden die Kosten, welche der Transport von fertigem Beton oder Mörtel verursacht, erheblich über die Kosten des Transportes der Rohmaterialien hinaus gehen, und zwar gleichgiltig, ob es sich dabei um Transporte in wagrechtem oder senkrechtem Sinne handelt. Häufig wird es ökonomisch vortheilhaft sein, die Maschine beweglich einzurichten, so dass sie dem wechselnden Zustande des Baues folgen kann; jedenfalls gilt dies dann, wenn nicht sehr bedeutende Mengen von Mörtel oder Beton erforderlich sind. In solchen Fällen sind raumersparende Konstruktion der Maschine und leichte Beweglichkeit derselben Hauptanforderungen.

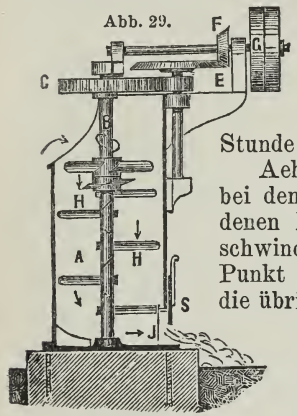
Während für Kalk- und Trassbeton wegen der „Zähigkeit“ des Mörtels und des grossen Wasserantheils, den derselbe enthält, die Bereitung des Mörtels und die Zumischung des Kieses (oder Schotters) zu demselben

meist gesondert werden müssen, liegt dazu bei dem „kurzen“ und wenig feuchten Cementmörtel selten ein ausreichender Grund vor und findet man demzufolge auch meist Anordnungen, bei denen der ganze Vorgang sich in einer einzigen oder doch einer einheitlich konstruirten Maschine abspielt.

Bedingung für alle Konstruktionen ist Einfachheit und Solidität, damit die — öfter vorkommenden — Reparaturen von gewöhnlichen Arbeitern oder doch solchen Handwerkern, die unmittelbar zur Stelle sind, ausgeführt werden können.

Was die Mörtelmaschinen betrifft, so weisen dieselben eine mehr wechselnde Durchbildungsweise auf, als die Betonmaschinen. Sie werden mit stehender oder liegender oder geneigt angeordneter Achse, in Trommel- oder Bottich-Form gebaut.

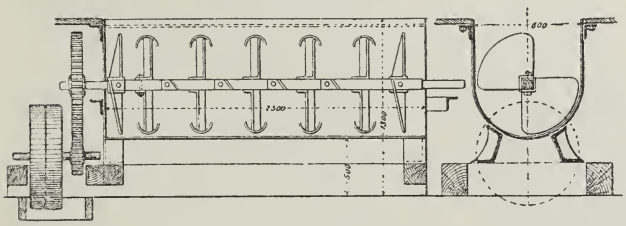
Abb. 29.



Die ältesten Mörtelmaschinen sind die Göpelwerke, bei denen in einem ringförmigen Troge von etwa 1,0—1,5 m Breite Rechen oder Schaufeln umgehen. In solchen kann man, wenn der Betrieb durch nur ein Pferd erfolgt, in einer Stunde 4—5 cbm Mörtel fertig stellen.

Aehnlich den Göpelwerken sind die Kollergänge, bei denen, wenn der Teller beweglich ist, die verschiedenen Punkte des Kollerstein-Umfanges ungleiche Geschwindigkeiten haben, so dass sich nur ein einziger Punkt des Umfangs in rollender Weise bewegt, während die übrigen Gleitbewegungen ungleiche Geschwindigkeiten ausführen. Infolge dieser Besonderheit der Bewegung und der Schwere der Kollersteine werden in den Kollergängen die Materialien nicht nur gemischt, sondern auch zerquetscht, was für die Beschaffenheit desMörtels günstig wirkt. Bei Beweglichkeit des Tellers ist aber die Entnahme des Mörtels unbequem, bei festem Teller dagegen ebenso bequem wie bei den Göpelwerken. Mit einer 4—5pferdigen Maschine sollen sich 6—7 cbm Mörtel in 1 Stunde herstellen lassen.

Abb. 30.



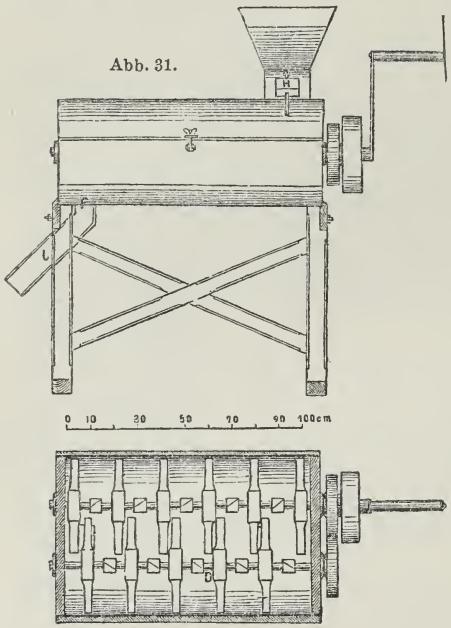
Mit senkrechter sowohl als wagrechter und geneigt liegender Achse werden Mörtelmaschinen ähnlich den in der Ziegelfabrikation gebräuchlichen Thonschneidern hergestellt. Abb. 29 zeigt eine Maschine, welche von Schumacher in Köln in mehreren Grössen gebaut wird. Die auf der senkrechten Welle steckenden Messer sind schraubenartig gekrümmt, so dass sie auf die Massen in der Richtung nach unten einen Druck ausüben, der den Mörtel zum — kontinuirlichen — Austritt aus der unten befindlichen Oeffnung veranlasst. Eine 2pferdige Maschine mit Zylinder von 1,1 m Höhe und 0,85 m Durchmesser liefert in der Stunde 2—3 cbm Mörtel; es werden übrigens diese Maschinen auch für Handbetrieb eingerichtet.

Anstatt der schraubenförmigen Arme sind auch gerade Arme ausgeführt, an welche man nahe bei einander rechenförmig Messer gesetzt hat. Ebensolche Arme mit Messern wurden dann an dem Zylindermantel — feststehend — angebracht, so dass die Massen, mit vielfachem Wechsel ihrer Richtung, sich durch die engen Oeffnungen bewegen müssen, welche zwischen den beiden Gruppen der Rechen verbleiben.

Bei Maschinen mit wagrechter oder wenig geneigter Lage der Achse kann der Zylinder ganz geschlossen sein, in welchem Falle man einen Aufsatz, Trichter, zum Einschütten der Materialien gebraucht, oder auch aus einem Halbzylinder — Troge — bestehen. Auf der Achse stecken schraubenförmige Flügel, welche die Masse gleichzeitig zerschneiden und der Ausfallöffnung zuschieben. Eine bei den Kieler Hafenbauten benutzte Maschine dieser Art, Abb. 30, lieferte bei einer 3pferdigen Betriebskraft etwa 8 cbm Mörtel in 1 Stunde.

Die Maschine, Abb. 31, von der Georgs-Marien-Hütte bei Osnabrück gebaut, ist für Handbetrieb eingerichtet und hat abnehmbaren Deckel; ausserdem weicht sie von der vorigen darin ab, dass zwei Achsen mit schraubenförmigen Armen hindurchgehen. Zwei Mann an der Kurbel sollen in einer Stunde 1,0—1,5 cbm Mörtel damit fertig stellen können.

Abb. 31.



Maschinen der beschriebenen Typen werden mit Abweichungen in den Einzelnheiten von zahlreichen Fabriken, u. a. auch von Schlickeysen in Berlin (s. weiterhin), von Möller & Blum, Berlin, u. A. gebaut. Wegen des Näheren darüber ist auf die bezügliche Spezial-Litteratur zu verweisen.[1])

Hinsichtlich der vorstehend bei Anführung der besonderen Typen hinzu gefügten Angaben über die stündlichen Leistungen erscheint es geboten nachzutragen, dass diese Angaben kein Bild von den wirklichen Kosten der Mörtelbereitung gewähren, insofern als bei denselben nichts über den Bedarf an Hilfskräften mitgetheilt ist, der bei den verschiedenen Maschinen ersichtlich in ziemlich weiten Grenzen wechselt. Bei kleinen Maschinen belaufen sich die Mörtelbereitungskosten, wenn die Materialien nicht besondere Transportkosten erfordern, für je 1 cbm Mörtel auf 1 M. und darüber, bei grösseren Maschinen können sie auf 0,75 M. und selbst noch weiter herabgehen, andererseits aber auch bei grösseren Transportweiten der Materialien sich bis auf das Doppelte dieser Sätze erhöhen.

[1]) Recht ausführlich ist diese bei Franzius und Sonne, Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, Bd. 4, Abth. 3, angegeben. Im übrigen ist besonders hinzuweisen auf „Zeitschrift f. Bauhandwerker", Jahrg. 1871, welche eine umfassende Arbeit über ältere Mörtelmaschinen enthält.

Bei Bereitung des Mörtels von Hand wird man das Doppelte und noch darüber der Kosten der Maschinenarbeit rechnen müssen, also 2,5 bis 3,5 M. für 1 cbm [1]).

Indessen ist der Einheitspreis nicht entscheidend für die Frage nach der Oekonomie der einen oder anderen Bereitungsweise in einem besonderen Falle, weil noch der Umfang der Leistung in Frage kommt. Ist diese gering, so dass die Kosten der Maschinenanlage nicht oder nur zu einem Theile getilgt werden, so wird die Handarbeit den Vorzug behaupten. Nach Sonne [2]) liegt die Grenze der ökonomischen Mörtelbereitung mit Hand vielleicht bei etwa 10 cbm täglichem Verbrauch während längerer Zeit; doch ist selbstverständlich eine allgemein giltige Angabe hierzu ausgeschlossen.

Von Bedeutung für die Qualität des Mörtels sind bei den, den Thonschneidern nachgebildeten Maschinen noch die Länge der Trommel und die Umdrehungszahl der Achse, da durch beide die Dauer des Verbleibens des Mörtels in der Trommel (Zylinder) bestimmt ist: Bei senkrechter Stellung, wo die Geschwindigkeit des Durchganges noch durch die Schwere vergrössert wird, muss entweder der Zylinder grosse Höhe haben, oder die Umdrehungszahl sehr gering genommen werden (4—8 in 1 Minute). Die Zylinderhöhe wesentlich über 1 m zu vergrössern, würde, abgesehen von besonderen Aufstellungsweisen, die Kosten nur vergrössern. Bei Maschinen mit wagrechter Lagerung der Achse ist man in der Trommellänge nicht beschränkt; dieselbe wird zu 2,5—4 m angenommen und entsprechend die Umdrehungszahl bis auf etwa 40 in 1 Minute gesteigert.

Das mit Bezug auf die Mörtelqualität sowie den Kostenpunkt günstigste Verhältniss zwischen Umdrehungszahl und Trommellänge wird mit der Beschaffenheit der Mörtelmaterialien wechseln und kann daher nur durch Versuche im Einzelfalle genauer bestimmt werden. Die Fachlitteratur ist an Mittheilungen über derartige Versuchsergebnisse arm und nur in den Prospekten der verschiedenen Fabrikanten von Mörtelbereitungs-Maschinen pflegen hierüber Mittheilungen enthalten zu sein.

Noch mehr Wechsel in der Form als die Mörtelmaschinen weisen die Beton-Maschinen auf, aus dem Grunde, dass mit denselben oft auch Einrichtungen zum Abmessen der Bestandtheile verbunden werden. Am häufigsten werden Trommeln (Zylinder) mit wagrechter oder geneigter Lage der Achse angewendet.

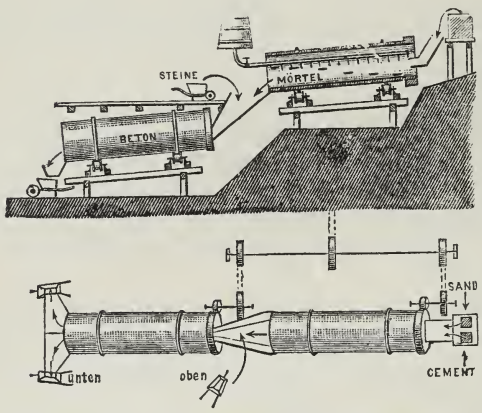
In der Trommel mit wagrechter Achse bewegen sich die Materialien unter der Wirkung der Zentrifugalkraft dem Trommelmantel zu; sie unterstehen der Reibung an diesem Mantel und der Wirkung der Adhäsion unter einander. Die Oberfläche der Masse nimmt unter dem Zusammenwirken dieser Kräfte eine Neigung vom Trommelumfang zur Mitte hin an, in welcher, wenn sie gross genug geworden ist, sich Rutschflächen bilden, auf denen Massentheile sich in gleitender Weise abwärts bewegen. Die am Umfange der Trommel am höchsten empor gehobenen Massentheile „überstürzen“ sich bei einer, wesentlich von der Mörtelbeschaffenheit abhängenden Steighöhe und führen ihre Abwärtsbewegung in theils rollender, theils gleitender Weise aus. Durch diese verschiedenartigen Bewegungen kommt die Mischung der Materialien zu Stande, deren Innigkeit, wie man sieht, so-

[1]) Vergl. u. a. Fay, Étude comparative sur la fabrication et le prix de revient des mortiers à bras d'hommes et par divers procédés mécaniques. Nouvelles annales de la construction, 1867, und Kreuter, Bemerkungen über Mörtelbereitung, Zeitschr. d. Oesterr. Ingen.- u. Archit.-Vereins, 1877.

[2]) Handb. d. Ingen.-Wissensch., Bd. 4, Abth. 3, S. 29.

wohl von der Dauer der Arbeit als von dem Trommeldurchmesser und von der Umdrehungszahl der Trommel abhängt. Welche Verhältnisse unter diesen drei Faktoren stattfinden müssen, um das günstigste Ergebniss zu erzielen, kann nur durch Versuche festgestellt werden. Es ersieht sich aber leicht, dass wenn man die Trommelachse, anstatt dieselbe wagrecht zu legen, mit Neigung anordnet, eine Kraft hinzu tritt, welche die Beweglichkeit der Masse und daher auch die Innigkeit der Mischung befördern wird, abgesehen davon, dass die Neigung auch dazu dient, das Material zu der an dem unteren Trommelende angeordneten Auslassöffnung zu fördern. In der Anordnung der Trommelachse: ob geneigt oder wagrecht, besitzt man also ein Mittel innerhalb gewisser Grenzen über die anderweiten Faktoren (Trommel-Länge, -Durchmesser und -Umdrehungszahl) zu bestimmen, und dieser Umstand ist es, welcher die Konstruktion der Betonmaschinen in hohem Grade beeinflusst hat. — Vereinzelt sind an der inneren Trommelwand Ansätze verschiedener Form in Schraubenlinien angeordnet worden, mit dem Zwecke, dass durch den Gegenstoss, den die auftreffenden Massen an ihnen erfahren, die Mischung derselben befördert werden soll. Ob solche Ansätze nothwendig sind oder nicht, hängt von den oben angeführten mitwirkenden Faktoren ab; eine allgemein giltige Ansicht kann darüber nicht aufgestellt werden.

Abb. 32.



Von Bedeutung für die Qualität der Leistung von Betonmaschinen ist der Umstand, ob die Maschinen zur kontinuirlichen Arbeit eingerichtet sind, oder ob, behuf des Einschüttens der Materialien bezw. der Entnahme des fertigen Betons, der Gang der Maschine unterbrochen werden muss. Da man bei letzterer Einrichtung die Mischung beliebig lange fortsetzen kann, ersieht sich, dass es möglich ist, dabei allen verschiedenen Zusammensetzungen des Betons, sowie allen Besonderheiten der Einzelmaterialien gerecht zu werden und mithin ein relativ vollkommenes Produkt zu erzeugen. Bei der kontinuirlich arbeitenden Beton- (auch Mörtel-) Maschine hat man nur in der Variation der Geschwindigkeit des Ganges einen Regulator zu Gebote, und ist daher weit weniger im Stande, dem Wechsel der verschiedenen Fälle sich anzupassen, bezw. auf die Güte der Leistung Einfluss zu nehmen. Daher sind, was Qualität der Leistung betrifft, die mit Unterbrechung arbeitenden Beton- (und Mörtel-) Maschinen den für kontinuirliche Arbeit eingerichteten überlegen.

Hiernach soll die Vorführung einiger Typen von Betonmaschinen folgen.

Eine am Ihlekanal, beim Kieler Hafenbau und auch sonst angewendete zweitrommelige kontinuirlich arbeitende Betonmaschine zeigte Abb. 32 in Grundriss und Ansicht. Es sind drei Arbeitsböden in verschiedenen Höhenlagen erforderlich; in der oberen Trommel wird der Mörtel bereitet, dem in der unteren der Schotter zugemischt wird. Das Wasser fliesst durch ein in die Mörteltrommel eingeführtes Rohr mit nur am unteren Ende durchlochter Wand

beständig zu; der fertige Beton kann mittelst Handhabung eines stellbaren Stückes zu beiden Seiten des unteren Trommelrandes entnommen werden, so dass durch den Wechsel der Transportgefässe kein Aufenthalt verursacht wird. Trommellänge etwa 3,8—4,0 m, beim Durchmesser von etwa 1 m. Neigung der Trommelachse etwa 1 : 8. Eine 8pferdige Lokomobile liefert in 1 Stunde 10—12 cbm Beton.

Eine anderweite Anordnung mit zwei Trommeln zeigt die Betonmaschine von Schlickeysen in Berlin, Abb. 33/34. Die Materialien nehmen den Weg von a über b und c nach d, wo sich event. ein Elevator zum Heben des fertigen Betons anschliesst. Beide Trommeln sind zum Einfüllen der Materialien auf der Oberseite der Länge nach breit aufgeschlitzt, doch über den Schlitzen Roste (Abb. 34) angebracht, (welche das Hineingerathen grober Stücke verhüten). Der Einwurf erfolgt bezw. bei a und c; bei b und c liegen Schaufeln g und g_1 (Abb. 34), welche bezw. den Mörtel hinüber und den Beton hinaus befördern. Die Abmessungen der beiden Trommeln sind bezw. 1,0 m Länge bei 0,30 m Weite und 1,8 m Länge bei 0,5 m Weite; die Umdrehungszahl in 1 Min. ist etwa 18. Die schraubenförmig gestellten Rechen auf der Achse der grossen Trommel bedürfen Sicherungsmittel gegen Einklemmen von Stücken zwischen ihnen und dem Mantel, wie desgleichen auch Vorkehrungen gegen das Festklemmen der Schaufeln g und g_1 zu treffen sind; über die Ordnung dieser Einzelnheiten muss in der Patentbeschreibung nachgelesen werden. Die Maschine soll bei einer Verwendung in Frankfurt a. M. 18 cbm Beton in 1 Stunde geliefert haben mit der Betriebsstärke von nur 7 Pferdekr. Es werden auch grössere Maschinen mit der Leistungsfähigkeit bis 30 cbm in 1 Stunde gebaut, welche nur etwa 9 Pferdekräfte zum Betriebe gebrauchen sollen.

Abb. 33.

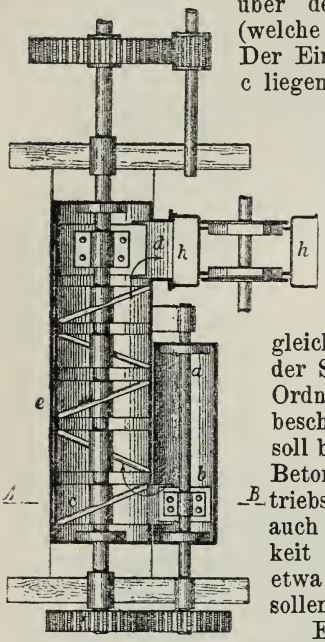
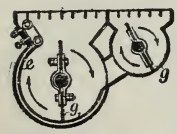


Abb. 34.



Eine Maschine bei welcher der Mischprozess gleichfalls in zwei Stufen zerlegt und welche mit Messeinrichtungen einfacher Art ausgestattet ist, zeigt Abb. 35. Dieselbe ist beim Hafenbau in Newhaven werwendet und hat die enorme Leistungsfähigkeit von etwa 130 cbm in 1 Stunde. Die Konstruktion ist von Latham angegeben und in diesem Falle für Aufnahme des fertigen Betons in Schiffe montirt. Es sind zwei hoch liegende Arbeitsböden vorhanden, auf derem oberen Schotter und Sand zugeführt werden. Sie fallen von da auf eine Drehscheibe, welche am Umfange zellenartige Messgefässe mit beweglichem Boden hat; die Bewegung dieser Böden ist selbstthäthig eingerichtet. Unter der Drehscheibe liegt fest eine kreisförmige Tafel, welcher von oben Schotter und Sand und von der Seite her mittelst Schnecke der Cement zugeführt wird. Auf dieser Scheibe bewegt sich ein Mechanismus, aus Armen und Schaufeln bestehend, welcher die Massen trocken mischt und einem Trichter zuschiebt, der sie in eine Trommel mit um 8^0 geneigt liegende Achse führt, in welcher der Wasserzusatz erfolgt und die im Innern mit Ansätzen versehen

ist. Die Trommel liegt in einem Trog, welcher so aufgehängt ist, dass beim etwaigen Festklemmen eines Schiffes der Trog etwas angehoben werden kann. Der Antrieb geschieht durch eine (tief aufgestellte) 20pferd. Maschine; auch die Transmission ist tief gelegt. Ueber dem Antriebs-Mechanismus der oben liegenden Mess-Drehscheibe ist ein Blechkonus gestellt; die Zufuhr von Schotter und Sand erfolgte mittelst Luftbahn. Zum Zuführen des Wassers war auf einem Ponton ein Pulsometer aufgestellt. — Bei der im Anfang betriebenen Handarbeit stellten sich die Kosten der Bereitung von 1 cbm Beton auf 2,33 M.; die Maschinenarbeit erforderte nur etwa $^1/_3$ davon: 0,78 M. Bei diesem Hafenbau sind Sackblöcke von etwa 45 cbm Grösse verwendet worden.

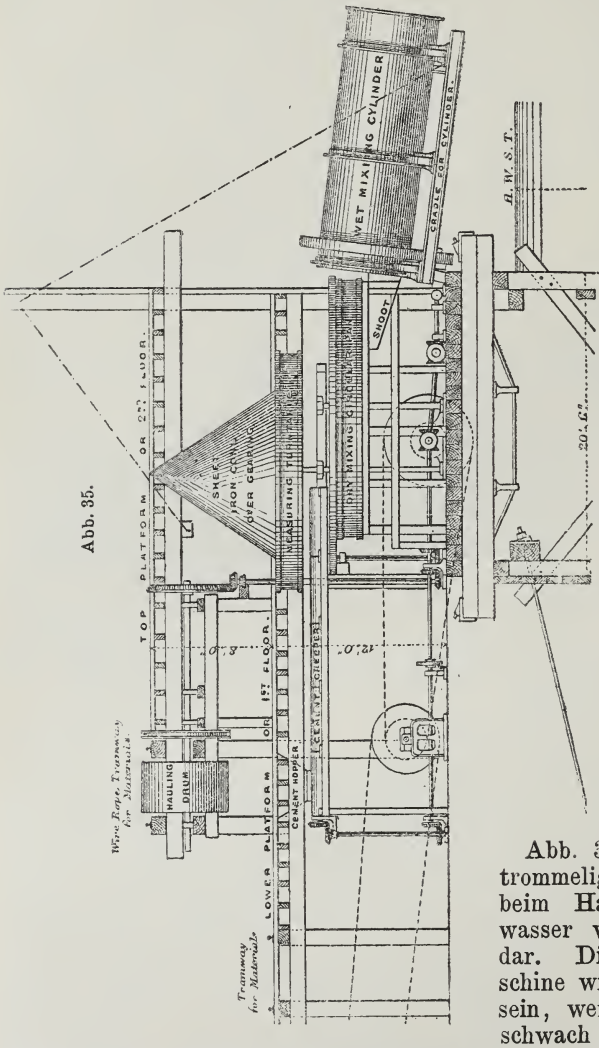


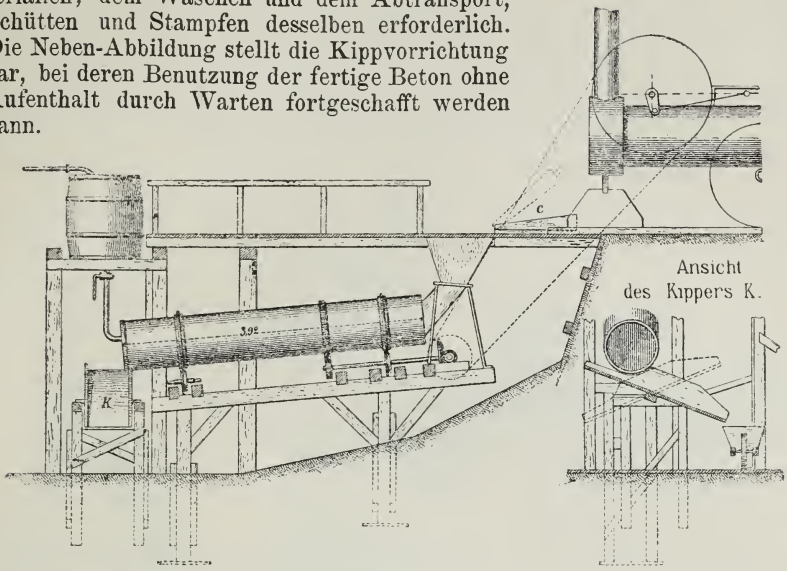
Abb. 35.

Beim Bau des Bremer Freihafens wurde für die Bereitung des (Trass-) Betons für einen Theil der Kaimauern ein fester Trog zum Zusammenstürtzen der Mörtelmaterialien und eine (drehbare) Trommel von nur 3 m Länge zum Mischen des Betons benutzt. Wenn für die Mischung des zähen Trassbetons eine Trommel genügt, wird es für den „kurzen“ Cementbeton zweier Trommeln jedenfall nicht bedürfen.

Abb. 36 stellt eine eintrommelige Maschine, wie sie beim Hafenbau zu Neufahrwasser verwendet worden ist, dar. Die eintrommelige Maschine wird immer ausreichend sein, wenn die Trommel, bei schwach geneigter Lage nur einige Länge hat und die Umdrehungszahl klein genommen wird; letztere betrug in Neufahrwasser 14, was eine Umfangsgeschwindigkeit der Trommel = 0,44 m ergiebt. Cement und Sand werden mittelbar von einem zum Kippen eingerichteten Mischbrett, Schotter wird mit Karren unmittelbar in einen Trichter verstürzt. Es wurden stündlich etwa 4 cbm Beton gefertigt, wobei an der Trommel 9 Mann thätig sein mussten; 36 weitere

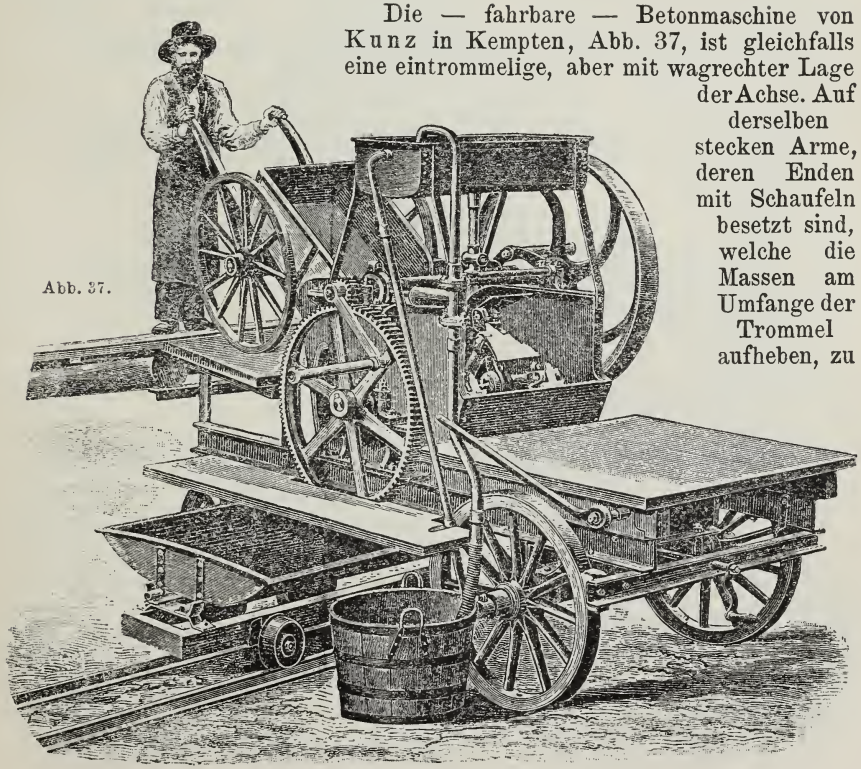
Arbeiter waren bei der Zuführung der Materialien, dem Waschen und dem Abtransport, Schütten und Stampfen desselben erforderlich. Die Neben-Abbildung stellt die Kippvorrichtung dar, bei deren Benutzung der fertige Beton ohne Aufenthalt durch Warten fortgeschafft werden kann.

Abb. 36.



Die — fahrbare — Betonmaschine von Kunz in Kempten, Abb. 37, ist gleichfalls eine eintrommelige, aber mit wagrechter Lage der Achse. Auf derselben stecken Arme, deren Enden mit Schaufeln besetzt sind, welche die Massen am Umfange der Trommel aufheben, zu

Abb. 37.



gewisser Höhe heben und dann fallen lassen. An der einen Seite der Trommel werden Sand und Kies eingeschüttet, an der andern der Cement. Das Wasser fliesst aus einem hoch aufgestellten Behälter zu. Die Maschine arbeitet nicht kontinuirlich, aber recht befriedigend. Der Kraftbedarf bei der als No. 2 gehenden Maschinengrösse ist 6—7 Pfdkr. wenn Beton aus Schotter bereitet wird; beim Mischen mit Kiesbeton genügen 4—6. Dabei können stündlich 7—8 cbm Beton fertig gestellt werden.

In Abb. 38 ist eine beim Hafenbau in Newhaven benutzte gleich-

Abb. 38.

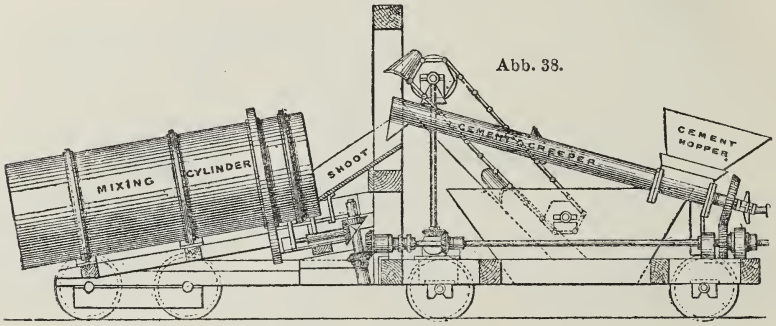
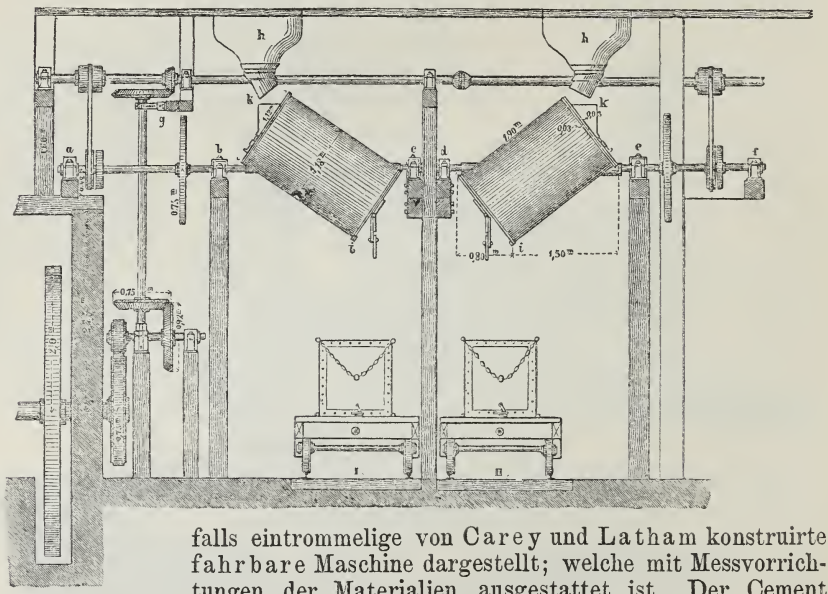


Abb. 39.



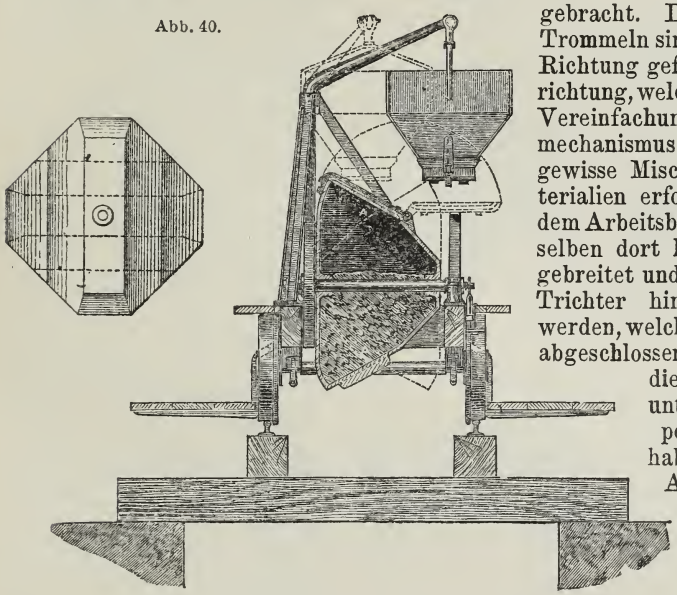
falls eintrommelige von Carey und Latham konstruirte fahrbare Maschine dargestellt; welche mit Messvorrichtungen der Materialien ausgestattet ist. Der Cement wird durch eine Schnecke, Sand und Schotter werden durch ein Paternosterwerk zur Trommel geführt; die richtige Mischung wird dadurch gesichert dass Schnecke und Paternosterwerk mit der Maschine den Antriebs-Mechanismus gemeinsam haben. Die Maschine lieferte in 1 Stunde etwa 50 cbm Beton; die dabei verwendete Maschinenstärke ist in der Quelle nicht angegeben, sondern nur bemerkt, dass bei Handarbeit nicht mehr als die Hälfte dieser Menge hätte fertig gestellt werden können.

Bei einer anderweiten Kombination in der die Zuführung aller

Materialien durch ein Paternosterwerk stattfindet, werden letztere auf einem Wagen herangebracht, dessen Kasten in eine Anzahl Zellen getheilt ist, welche zum Kippen eingerichtete Böden haben; der ganze Kasten ist wie eine Drehscheibe um einen Mittelzapfen drehbar. Die einzelnen Zellen werden, dem Mischungsverhältniss entsprechend, mit den verschiedenen Materialien gefüllt und der Reihe nach in die Eimer des von der Maschine mit betriebenen Paternosterwerks verstürzt; der Mechanismus fällt hier etwas einfacher aus wie im vorigen Falle.

Abb. 39 giebt einen Theil der Betonmaschinen-Einrichtung für den Hafenbau zu Ymuyden (Blockbau). Die Trommeln haben die geringe Länge von 1,90 m bei 1,18 m Durchmesser; selbst bei nur kleiner Umdrehungszahl würde die Mischungsdauer sehr kurz sein. Das vorhandene Minus an Zeit wird durch die stark geneigte Lage der Trommeln, welche das heftige Durcheinanderstürzen der Materialien bewirkt, wieder eingebracht. Die Achsen der Trommeln sind in diagonaler Richtung geführt, eine Einrichtung, welche nebenbei zur Vereinfachung des Antriebsmechanismus dient. Eine gewisse Mischung aller Materialien erfolgt bereits auf dem Arbeitsboden indem dieselben dort lagenweise ausgebreitet und darnach in die Trichter hinein geschoben werden, welche mit Schiebern abgeschlossen sind. Da auch die Trommeln am untern Ende Klappen-Verschluss haben, geht die Arbeitsleistung nicht kontinuirlich sondern absatzweise mit kurzen Zwischenpausen vor sich. Die Trommeln machen 20 Umdrehungen, und die Fertigstellung einer Füllung erfordert 30 bis 40 Umdrehungen. Jede Füllung enthält 0,2 cbm Cement, 0,4 cbm Sand, 0,5 cbm Schotter, was etwa 0,77 cbm Beton gab. Die Maschine, welche die Materialien auf den etwa 6 m hoch liegenden Arbeitsboden zu fördern, das Wasser aus einem Brunnen zu heben, die Laufkrahne zum Abheben der Formkasten und 4 Betontrommeln bedienen musste, hatte 25 Pfdkr.[1])

Abb. 40.



Bei der in Abb. 40 dargestellten, von Messeut angegebenen und u. a. bei den Molenbauten in Tynemouth verwendeten fahrbaren Maschine ist dadurch, dass an die Stelle der Trommel ein sehr eigenartiger Mischkasten gesetzt wurde, eine ausserordentlich kompendiöse Form erzielt worden, die unter beengten Verhältnissen der Baustelle, oder da wo Leichtigkeit des Ortswechsels, z. B. bei Gefahren in exponirten Lagen nothwendig

[1]) Näheres s. Deutsche Bauzeitung 1870.

ist, von besonderem Vortheil sein kann. Der Mischkasten dieser Maschine kann aus der Zusammenstellung von zwei kurzen hohlen Keilen entstanden gedacht werden, deren Zuschärfungen einander zugekehrt sind, jedoch so, dass die Schneide des einen Keils senkrecht auf der des andern steht. Wenn man sich die beiden Keile in dieser Lage in einander geschoben denkt, so entsteht ein Hohlraum mit 4 Taschen, in welche bei nur einer vollen Umdrehung der Achse die Masse nach einander hinein stürzt. In der Abbildg. ist die nach $^1/_4$ Umdrehung des Kastens stattfindende neue Lage *A* desselben punktirt angegeben. Das Durcheinanderstürzen der Masse, die Mischung derselben, ist also im Vergleich zu demenigen, welches bei einer zylindrischen wagrecht gelagerten Trommel stattfindet, vereinfacht, eine Thatsache, in welcher die Beschränkung des Mischkastens auf ein Kleinstmaass ihre Begründung findet. Zum Füllen des Kastens dient ein in einem Ausleger hängender Trichter und eine Klappe in der Kastenwand; die Entleerung findet durch eine zweite Klappe statt. Zur ausreichenden Mischung genügen, je nach der Beschaffenheit des Schotters, 6—12 Kasten-Umdrehungen; letztere können sowohl von Hand als maschinell bewirkt werden. Zum Drehen werden 4 Arbeiter, und zum Einfüllen der Materialien und der sonstigen Bedienung 2 gebraucht. Bei solcher Bedienung können in 1 Stunde 2—3 cbm Beton fertig gestellt werden.

Abb. 41—43.

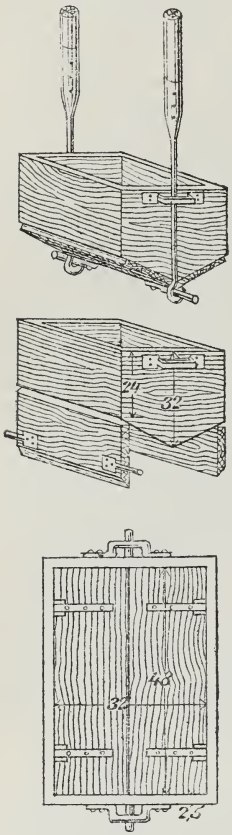
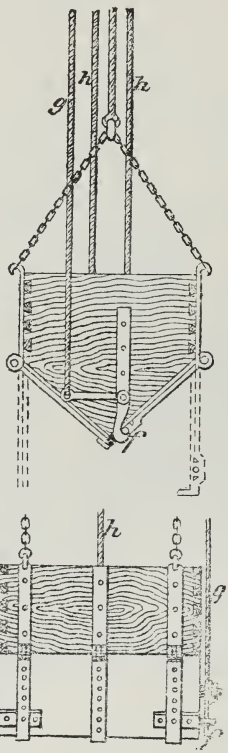


Abb. 44 u. 45.



e. Geräthe zum Schütten von Beton unter Wasser und zum Versetzen von Blöcken.

Wenn diese Geräthe zu kontinuirlicher Arbeit eingerichtet sind heissen sie Trichter, in anderen Fällen Kasten.

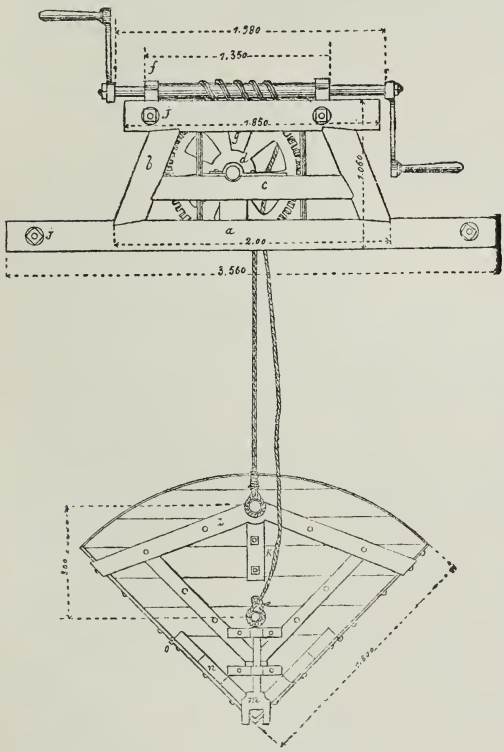
Die hauptsächlichste Anforderung an sie besteht darin, Ausspülungen des Mörtels aus dem Beton möglichst zu verhindern.

Vieles kann dazu bei den Kästen schon darin geschehen, dass man mit der Grösse derselben möglichst hoch geht, indem die dem Wasser dargebotene Oberfläche um so kleiner, je grösser der Inhalt ist. Wo also nicht etwa in der besondern Form des Baues eine Grenze für die Kastengrösse gezogen ist, wird man diese nur von der Tragfähigkeit der Winden, Krähne, oder Versenkgerüste abhängig machen. Bei den Hafenbauten zu Dublin und zu Wick sind Kästen von 4 cbm Inhalt benutzt

worden, ausnahmsweise in Dublin sogar solche von etwa 16 cbm; man hat mit denselben am erstgenannten Orte Schüttungen in 6—12 m Wassertiefe hergestellt. Auch in der Form der Kästen lässt sich Einiges zur Minderung der spülenden Wirkungen des Wassers thun. Dies geschieht, indem man durch Beschränkung der Kasten-Höhe die Fallhöhe des Betons möglichst ermässigt. Die Kasten müssen daher mehr breit als hoch gebaut sein. Eine Nebenanforderung an die Kästen ist, dass die Auslösung des Bodenverschlusses, wenn der Kasten in der Tiefe angekommen ist, sich leicht und sicher bewirken lassen muss.

Die Kästen werden aus Holz oder Eisen angefertigt, und sind in den Formen nicht allzu sehr wechselnd. Ein kleinerer Kasten von nur etwa 0,04 cbm Inhalt aus Holz ist in der Abb. 41/43 dargestellt. Um den Bodenverschluss auszulösen, müssen die Stangen, an welchem der Kasten hinabgelassen wird, wenn dieser auf dem Grunde angekommen ist, ausgehakt und hoch gezogen werden, wobei sie, da die Haken nicht durch die beiden Handgriffe an den Steinbrettern des Kastens passiren können, den Kasten wieder mitnehmen.

Abb. 46.



Eine bessere Konstruktion in Holz ausgeführt geben die Abb. 44/45, bei der die Auslösung der Bodenklappen mittelst der beiden Zugseile g und g leicht und sicher bewirkt und der Kasten, während die Betonmasse austritt, noch etwas gesenkt werden kann.

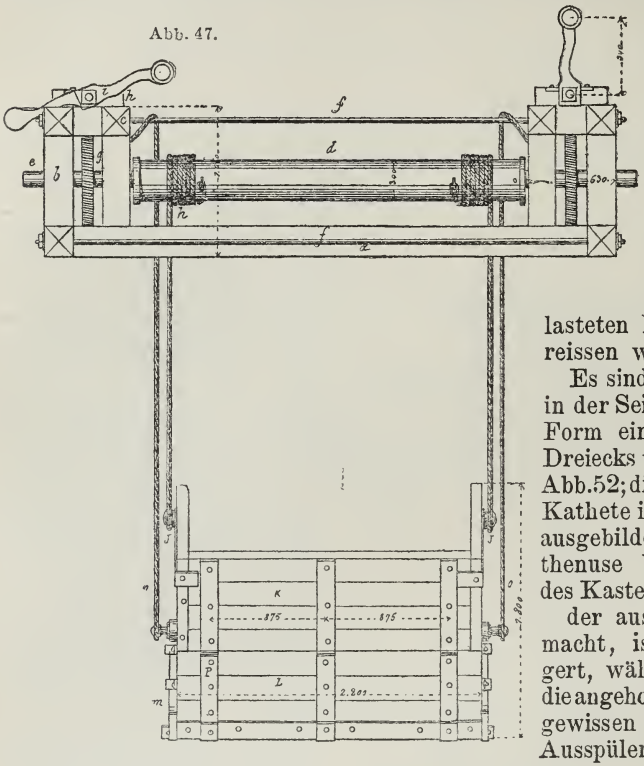
Eine dritte Konstruktion aus Holz, bei der eine Form gewählt ist, die sich für Schüttungen von nur geringer Höhe gut eignet und die insofern sehr zweckmässig ist, als die Fallhöhe der austretenden Masse möglichst beschränkt ist, zeigen, nebst dem zugehörenden Haspel, die Abb. 46 und 47. Die Auslösung der Bodenklappen geschieht von Hand, der Haspelbetrieb durch zwei Schneckenräder. Der Kasten fasst reichlich 2 cbm; derselbe ist beim Hafenbau von Marseille benutzt worden.

Die eisernen Kästen haben meist die in Abb. 48/49 dargestellte Form bei 0,75—2 chm Inhalt. Die Auslösung der Bodenklappen ist wie im vorigen Beispiel eingerichtet.

Ausser dieser Form der eisernen Kästen kommt noch die halbzylindrische vor, welche derjenigen Abb. 46/47 ähnelt. Die Abb. 50/51 stellen einen solchen Kasten in der Ausführungsweise dar, wie er beim Bau der Elb-Brücke bei Dömitz benutzt worden ist. Der Fassungsraum

desselben beträgt etwa 0,5 cbm. Soll der Kasten, unten angekommen, sich öffnen, so wird mittelst der Zugleine M der Haken C, der den Kasten beim Hinablassen trug, abgehakt und alsdann die Kette wieder angezogen, wobei die Seile k k in Spannung treten und öffnen; in diesen Seilen hängend, wird auch der leere Kasten wieder nach oben befördert.

Abb. 47.



Um gegen vorzeitiges Auslösen des Hakens (durch Nachlässigkeit oder Muthwillen) Sicherheit zu schaffen, braucht nur die Zugleine M so schwach gemacht zu werden, dass sie bei dem Versuch, den belasteten Haken auszulösen, reissen würde.

Es sind auch Betonkästen in der Seitenansicht von der Form eines rechtwinkligen Dreiecks verwendet worden, Abb. 52; die vertikel stehende Kathete ist dabei als Klappe ausgebildet und die Hypothenuse bildet den Boden des Kastens. Der Weg, den der austretende Beton macht, ist hierbei verlängert, während andererseits die angehobene Klappe einen gewissen Schutz gegen das Ausspülen gewährt; jedenfalls ist der Vorzug solcher dreieckigen Kästen unerheblich.

Abb. 48.

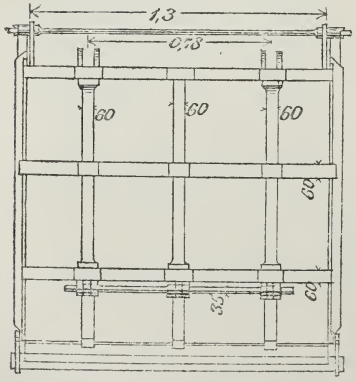
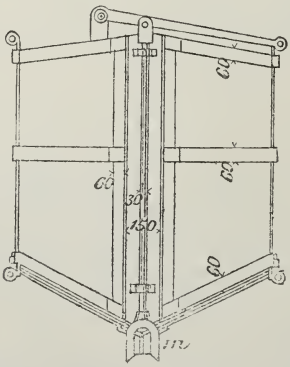


Abb. 49.



Vereinzelt sind anstatt Kästen auch Säcke aus getheerter Leinwand benutzt worden, die an beiden Enden offen und durch Besatz von starkem Tauwerk verstärkt waren,

Abb. 53/55. Inhalt der Säcke etwa 0,15 cbm. Das untere Ende der Säcke wird mittelst einer Schlinge besonderer Art, Abb. 55, zugeschnürt, welche durch Ziehen von oben leicht geöffnet werden kann.

Beim Versenken mit Kästen schlägt, wenn die Geschwindigkeit nur einigermaassen gross ist, in dem Augenblicke, wo der Kasten unter dem Wasserspiegel verschwunden ist, das Wasser mit Heftigkeit über demselben zusammen, wobei die oben liegende Masse ausgewaschen wird; es muss daher für diesen Augenblick die Geschwindigkeit auf ein Minimum ermässigt werden. Besser, und den dabei stattfindenden Zeitverlust vermeidend ist es, den Kasten mit einem Stück getheerter Leinwand zu bedecken, welche an der einen Kastenseite befestigt und an der gegenüber liegenden durch ein paar Gewichte beschwert wird. Werden in

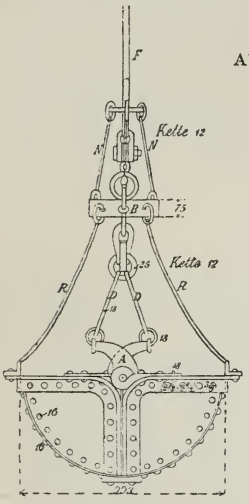


Abb. 50 u. 51.

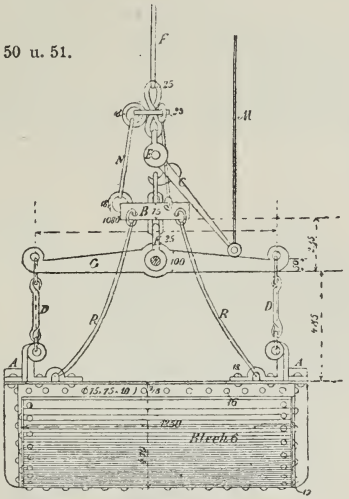


Abb. 52.

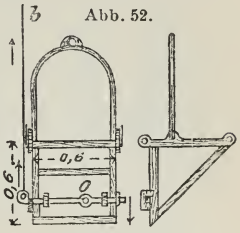
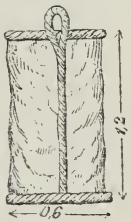
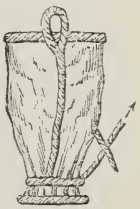


Abb. 53—55.



die Leinwand ein paar Löcher zum Auslassen von Luft gemacht, so ist dieselbe vor dem Aufschwimmen gesichert und gewährt absoluten Schutz gegen den in Rede befindlichen Uebelstand. —



Betontrichter werden aus Holz oder Eisen hergestellt. Ihre Anwendung ist bequem in schmalen, lang gestreckten Baugruben, wo es blos der Bewegung in einer Richtung bedarf, wird dagegen etwas unbequem, wo die Schüttung in beiden Richtungen ziemliche Ausdehnung hat; ausserdem nehmen die Schwierigkeiten der richtigen Bewegung des Trichters mit der Wassertiefe zu. Daher sieht man sie, obwohl was den Schutz des Betons gegen Ausspülen und die Bildung von Trennungsflächen betrifft, die Trichterschüttung vor Kastenschüttung im Vorzuge ist, nur selten angewendet. Ein anderer, mit der Trichterschüttung verbundener Mangel ist der, dass der Beton sich weniger dicht ablagert als bei Kastenschüttung. Man hat demselben dadurch abzuhelfen versucht, dass man mit dem unteren Ende des Trichters ein paar Walzen verband, welche die Oberfläche der Schicht glätten und einen gewissen Druck auf dieselbe ausüben sollen. Es ersieht sich leicht, dass, wenn dieser Druck nur einigermaassen wirksam werden soll, den bereits vorhandenen Bewegungsschwierigkeiten des Trichters sich eine neue, nicht leicht überwindbare hinzu gesellt. Anderweit ist vorgeschlagen worden, um eine feste Lagerung von

Trichterschüttungen zu erzielen, den Beton unter Luftdruck einzubringen, d. h. unter Benutzung einer Kammer am unteren Ende des Trichters, aus welchen das Wasser durch Luftdruck fern gehalten wird, so dass dieselbe behufs des Vertheilens und Stampfens durch Arbeiter betreten werden kann. Umständlichkeit und Kostspieligkeit der Einrichtung sind so gross, dass dieser Vorschlag, so viel bisher bekannt, noch keine Verwirklichung gefunden hat.

Um zu verhüten, dass die Bewegung im Trichter stockt, etwa an Stellen, wo die Mörtelmischung eine andere ist, empfiehlt sich bei einiger Tiefe des Trichters, denselben nach unten hin etwas zu erweitern, doch nur wenig, damit der Zusammenhalt der Massen nicht leidet. Die voran gehende Seite des unteren Endes vom Trichter wird zweckmässig etwas kürzer gehalten, damit der Beton hier leichter austreten kann.

Abb. 56.

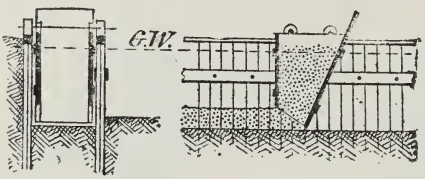
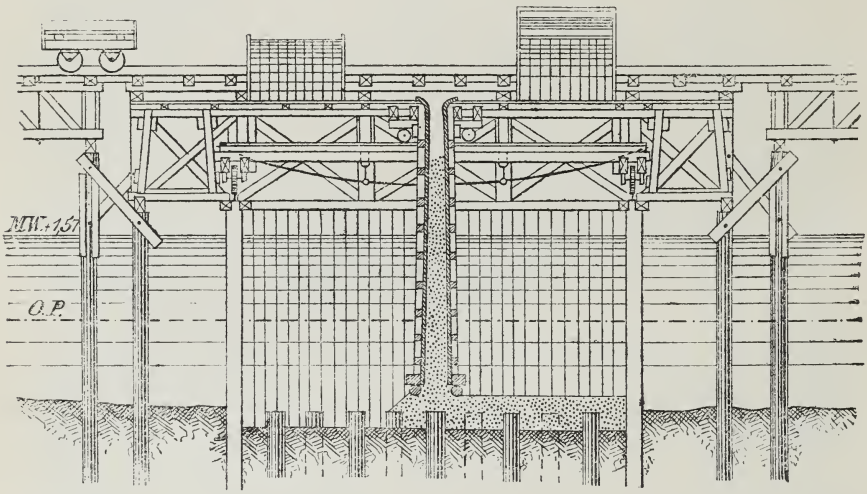


Abb. 57.



Wenn mehrere Schichten über einander zu schütten sind, stellt man den Trichter aus einzelnen Theilen entsprechend der Schichtenhöhe her und nimmt nach Beendigung einer unteren Schicht das obere Stück des Trichters ab.

Bei Trichterschüttung müssen längere Pausen möglichst ganz vermieden werden; die Arbeit ist daher auch bei Nacht, etwa mit geringerer Intensität, fortzusetzen. Die Neufüllung des Trichters nach einer Pause erfordert besondere Vorsicht. Sie muss, damit nicht Ausspülungen stattfinden, mit kleinen Kästen oder Säcken, oder, besser, mit Hilfe eines zweiten engeren Trichters bewirkt werden, den man in den weiten Trichter bis auf den Grund hinab lässt, indem man sein unteres Ende mit einer Klappe geschlossen hält und dabei oben in dem gleichen Maasse Beton nachfüllt wie der Trichter sinkt, so dass die Oberfläche der Füllung immer über Wasserspiegel bleibt. Steht der Trichter unten auf, so wird die Bodenklappe geöffnet, der kleine Trichter langsam wieder gehoben und gleichzeitig so viel Beton zugeworfen, dass sich der grosse Trichter füllt.

Eine Trichterschüttung für geringe Wassertiefe, wie sie beim Bau der königlichen Porzellan-Manufaktur in Charlottenburg ausgeführt wird, ist in Fig. 56, 57 dargestellt. Es handelte sich um die Fundirung eines Hochbaues in schmaler Baugrube zwischen Spundwänden, wozu auf derselben Holme gestreckt sind, die unmittelbar als Laufflächen für den mit Rollen versehenen Betontrichter dienen. Die Einrichtung kann für ähnliche Verhältnisse als mustergiltig angesehen werden und ist sehr ökonomisch.

Die Einrichtung einer Trichterschüttung in tiefem Wasser ist in Fig. 57 dargestellt. Der Trichter kann vermöge seiner eignen Fahrbarkeit und dadurch, dass derselbe auf einer fahrbaren Laufbrücke montirt ist, Bewegungen in zweierlei Richtungen machen.

Selbstverständlich kann man dem Trichter auch eine schräge Lage geben und denselben auch so mit dem Gestell verbinden, dass das untere Ende — bei wechselnder Steigung — ohne dass das Gestell vom Platze rückt, eine gewisse Fläche bestreicht; es ersieht sich indessen, dass alsdann für die Bewegung der Masse im Trichter leicht Schwierigkeiten entstehen, dass Ausspülungen stattfinden können und dass die Gleichmässigkeit der Vertheilung des Betons am Grunde in Frage gestellt ist.

Abb. 58.

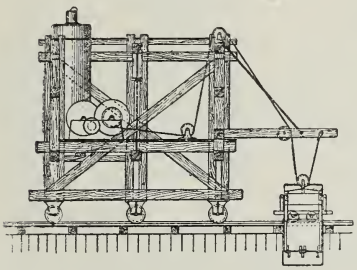
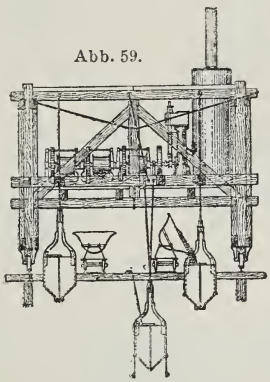
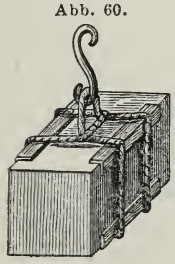


Abb. 59.



Eine durch Maschinenkraft betriebene Kasten-Versenk-Einrichtung, bei welcher Kästen von etwa 1 cbm Inhalt benutzt wurden, zeigen Fig. 58 und 59; dieselbe ist zur Fundirung von Kaimauern am Freihafen zu Bremen benutzt worden. Das hölzerne Gestell läuft auf Schienen, die auf den Holmen der die Baugrube einschliessenden Scheidewände gestreckt sind und trägt an einem beweglichen Ausleger drei Kästen, welche die Breite des Fundaments decken. Die stündliche Schüttungsmenge belief sich auf etwa 8 cbm, die Böschung des (aus 1 Trass, 1 Kalk, 1 Sand und 2 Schotter bestehenden, sonach sehr fetten) Betons bildete sich zu etwa 1 : 3 heraus.

Abb. 60.



Bei den Hafenbauten in Kiel benutzte man ein Gerüst mit 10 Kästen neben einander auf einem schwimmenden Gerüst; es wurden immer zugleich 5 Kästen hinab gelassen und entleert, welche jeder etwa 3,75 cbm Inhalt hatten. Wo, wie hier, wegen nicht grosser Höhe der Betonschicht keine grösseren Kästen verwendet werden können, bietet die gleichzeitige Ausschüttung mehrerer Kästen ein Mittel, der Ausspülung des Betons — und der Bildung von Trennungsflächen einigermaassen entgegen zu wirken.

Versetzung von Blöcken. Bei kleinen Blöcken wird zweckmässig Einschlingung in Taue unter Belegung der Kanten des Blocks mit Brettstücken benutzt, Abb. 60. Die Anwendung von Ketten zum Einschlingen ist, wenn der Block ausgesparte

Falze besitzt, unräthlich wegen der scharfen Pressung auf kleine Stellen und weil bei ungenauer Lage eines oder des anderen Kettengliedes (die kaum zu vermeiden ist) Stösse entstehen können, welche den Block gefährden. Für das Versetzen schwerer Blöcke muss man besondere Apparate zum Anhängen des Blocks an die Tragkette anwenden.

Von den sogen. Wölfen, Hebezangen, die bei Werksteinbauten angewendet werden, sind mehrere zum Versetzen von Betonblöcken nicht geeignet, weil ihr Gebrauch hohe Scherfestigkeit voraussetzt, die (vergl. S. 97) dem Beton fehlt. Auch Zangen, welche den Block zwischen Spitzen fassen und keilförmige, nur wenige Centimeter hohe „Wölfe", die in eingearbeitete Löcher eingesetzt werden, sind unanwendbar.

Beim Hafenbau zu Mormugao wurden für Blöcke von 10 cbm Grösse

Abb. 61.

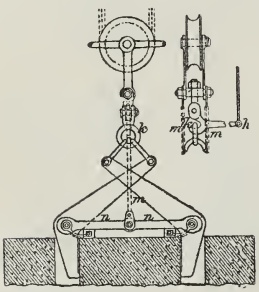


Abb. 62.

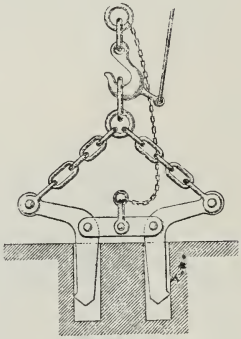


Abb. 63.

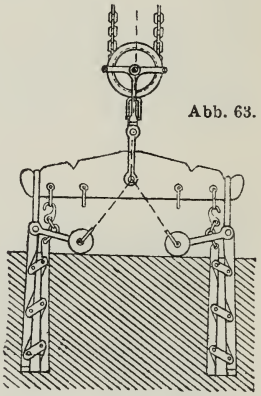
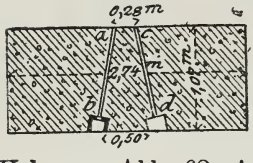


Abb. 64.



Hebezangen der in Abb. 61 im Maassstabe 1 : 96 dargestellten Konstruktion benutzt. Zur Auslösung dient Zugseil *z* und Hebel *h*. Wenn durch Anziehen dieses Seils der Ring *k* abgeworfen ist, wird der Apparat mittelst der Zugstangen *m m* und des Querstücks *n n* wieder gehoben. — Nach demselben, von Hutton angegebenen Konstruktionsprinzip wie vor ist das Hebezeug Abb. 62 eingerichtet; im Vergleich zur vorigen Ausführungsweise ist dasselbe etwas einfacher ausgestaltet. — Vielfach (u. a. auch bei der Hafenerweiterung in Wilhelmshaven) ist das Hebezeug Abb. 63 (von Mathew angegeben) benutzt worden. Jede der beiden Klauen ist zweitheilig und es sind die Theile durch kurze Gelenkstangen so verbunden, dass bei angehängter Last beide gegen die Wände des Loches angedrückt werden. Ist der Block in die richtige Lage gebracht, so wird der Querbalken, an welchem die beiden Klauen hängen, etwas gesenkt und es findet alsdann mittelst der an den beiden äusseren Klauenhälften angebrachten, mit Gegengewichten beschwerten Hebel und einer Zugleine Abwerfen der Aufhängungs-Bügel von dem Querbalken statt. Wird nunmehr wieder angehoben, so treten die kurzen (sonst schlaffen) Kettenenden, mittelst welcher die beiden aussen liegenden Klauenhälften an dem Querbalken aufgehängt sind, in Wirksamkeit; die Klauentheile nähern sich nun einander und es wird das dadurch frei werdende Hebezeug wieder gehoben.

Entbehrlich ist ein besonderes Hebezeug, wenn man, wie es beim Hafenbau in Ymuyden geschehen, in der Mitte des Blocks zwei gegen-

einander etwas geneigt stehende Löcher und an der Unterseite des Blocks zwei Nuthen ausspart, Abb. 64. Diese Löcher sind oval zu halten; es werden durch dieselben von oben Eisenstangen eingeführt, welche am oberen Ende eine Oese, am unteren Ende Vorsprünge besitzen, die nach Drehung der Haken um 90° unter die Lochränder fassen. Die Tragkette wird unmittelbar durch die Oesen der Stangen gezogen. Diese Vorrichtung lässt an Einfachheit nichts zu wünschen übrig; man muss aber beachten, dass die nur kleinen Flächen der Haken einen sehr hohen spezifischen Druck an den betr. Stellen des Blocks ausüben, der diese gefährdet; dagegen könnte indessen, wenn man eine Gefahr für das Ausreissen der Stange vermuthet, durch Einlegen kleiner durchlochter Platten aus Eisen wohl vorgekehrt werden. Jedenfalls gewährt diese Aufhängungsweise auch eine gute Probe auf die Haltbarkeit der Blöcke, nicht allein was ihre Druckfestigkeit betrifft, sondern auch, bei Blöcken von einiger Länge, mit Bezug auf Biegungsfestigkeit.

Abb. 65.

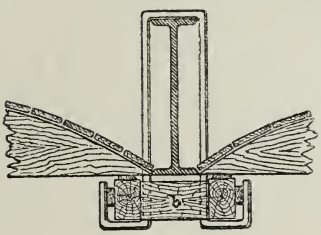


Abb. 66.

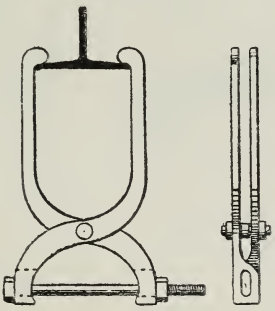


Abb. 67.

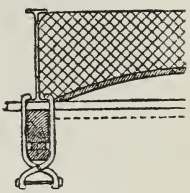


Abb. 68.

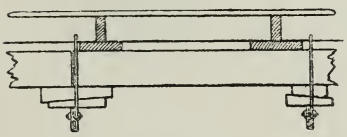
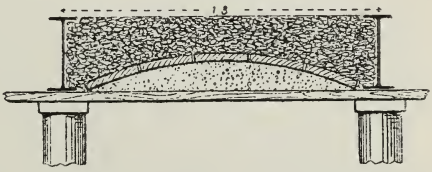


Abb. 69.



f. Einrüsten von Betongewölben.

Dasselbe bietet im Vergleich zu dem Einrüsten von gemauerten Kappen eine Besonderheit darin, dass, weil der Beton gestampft werden muss, die Rüstung möglichst wenig elastisch sein darf, sondern steif sein muss. Am besten ist Stützen der Lehrbögen und Schalbretter von fester Grundlage aus. Es kommt indess bei Hochbauten vor, dass feste Stützpunkte nicht in ausreichender Zahl vorhanden oder wegen anderweiter Ansprüche an die betr. Räume nicht benutzbar sind. Wenn in solchen Fällen die Gewölbe zwischen Eisenträgern herzustellen sind, bietet sich ein bequemes Mittel darin, die Lehrbögen auf Hängeeisen zu stellen, welche in passender Weise an den Trägern aufgehängt sind.

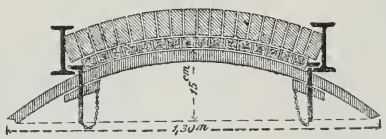
Die Form der Hängeeisen kann man sich verschieden denken; die nachstehend mitgetheilten Formen bieten Beispiele aus der Praxis, welche mehrfach angewendet sind. Abb. 65 zeigt Hängeeisen einfachster Form aus Rund-, Quadrat- oder ⌊Eisen herstellbar, die bis 3 m Kappenweite

angewendet sind und deren Stärkeerforderniss nach dem Gewicht der Kappe usw. leicht bestimmt werden kann. Von besonderer Wichtigkeit ist das Einsetzen der Spreitze *b*, weil, wenn sie fehlt, die Haken des Hängeeisens unter der Last des Gewölbes so gebogen werden, dass sie sich einander nähern, wobei die Schalung sinkt und das Gewölbe Schaden erleiden kann.

Die Konstruktion Abb. 66—68 zeigt eine scherenförmige Ausbildung der Hängeeisen, welche vor derjenigen Abb. 65 den Vorzug verdient, insofern als dabei ein Senken der Rüstung ausgeschlossen ist. Die Hängeeisen wiegen nur etwa 8 kg, bei welchem Gewicht dieselben eine Last von etwa 1600 kg tragen können. Der Rahmen für den Arbeitsboden, welcher unmittelbar unter den Trägeruntersichten liegt, muss vorläufig mit Seilen an den Trägern aufgehängt werden, bevor die Hängeeisen angebracht werden können; das Einbringen der Schwellstücke wird am bequemsten und sichersten unten bewirkt und mit den Schwellstücken die Schere hoch gezogen.

Die patentirte Vorrichtung von C. Peschke in Zweibrücken, Abb. 70, besteht aus einem gebogenen, 40/9 mm starken und 1,30 m langen Flacheisen, Hängeeisen mit je einem Schlitz, keilförmigen Stücken (Schliessen) und Kettchen, welche die Hängeisen und Schliessen mit einander verbinden.

Abb. 70.



Die Pfeilhöhe beträgt auf 1,30 m 15 cm, wird aber auf Verlangen auch geändert. Bögen, welche länger als 1,30 m bestellt werden, kosten 1 kg 0,76 M. Der Bogen von 1,30 m wiegt etwa 6 kg und kostet 3,30 M.

Auch grade ebene Decken lassen sich nach derselben Art bequem einschalen, indem man statt der eisernen Bögen gerade Flacheisen von genügender Stärke verwendet!

Die Einrüstung mit diesen Bögen geht sehr leicht und einfach von Statten, wie desgleichen auch das Ausrüsten. Das bei unvorsichtigem Arbeiten, bei Stössen usw. zu befürchtende Drehen der Hängeisen kann durch Spannen einer Kette oder eines Seiles oder durch Zwischensetzen von Spreitzen, wie bei der Konstruktion nach Abb. 65, unschwer verhütet werden. —

Die Schalbretter müssen entweder sehr stark (bohlenartig) sein, oder in ganz kurzen Abständen durch die Lehrbögen unterstützt werden. Besser ist kontinuirliche Stützung, die man dadurch beschaffen kann, dass man, etwa unter Fortlassung der Lehrbögen, auf eine Bohlenlage eine Sandschüttung bringt, deren Oberfläche nach den Wölblinien abgeglichen wird. Auf diese Sandschüttung werden die Schalbretter gelegt. Bei einiger Länge der Kappe sind Verschiebungen der Sandmasse nicht ausgeschlossen; in solchen Fällen wird es sich empfehlen, diese dadurch einzuschränken, dass man in die Sandschüttung Lehrbögen stellt, deren Wölblinie um ein Geringes unter derjenigen der Sandschüttung bleibt, so dass sie erst in Wirksamkeit treten, nachdem durch Zusammenpressen oder Verschieben der Sandmassen die Rücken der Lehrbögen frei geworden sind. Eine Einrüstungsweise wie die angegebene ist bei den Treppenpodesten des Frankfurter Opernhauses angewendet worden; dargestellt ist dieselbe in Abb. 69.

Um das Anhängen von Mörtel an die Schalbretter und Entstehung von Unebenheiten in frei liegenden Flächen zu verhüten, werden verschiedene Mittel angewendet, als z. B. Bestreichen der Bretter mit einer

Lösung von grüner Seife, oder eine Zwischenlage von grobem Papier. Besser ist es, auf die Schalung dünne Eisenblechtafeln zu legen, noch besser Kupfertafeln.

g. Herstellung von Beton-Schotter mit Maschinen; Sandsieb.

Dieselbe wird nur bei grossen Ausführungen in Frage kommen können, weil schon die Installation des Steinbrechers, bei leihweiser Erhältlichkeit desselben, wenn man sich nicht auf einen von Hand zu betreibenden Steinbrecher beschränkt, ziemlich hohe Kosten verursacht. Ausserdem arbeitet ein Steinbrecher im Vergleich zu Handleistung nur vortheilhaft, wenn die Härte des Materials gross ist. Bei solch hartem Material, wie Basalt, Grauwacke, Granit, Gneis, stellen sich die Kosten der Handarbeit auf 3—5 M. für 1 cbm Schotter, die der Maschinenarbeit, eingerechnet Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals, nur etwa halb so hoch.

Während der von Steinbrechern gelieferte Schotter zu Chausseebau-Material sich wenig gut eignet, weil derselbe sehr ungleichmässig in der Korngrösse ist und ausserdem viel splitterige Stücke enthält, ist derselbe gerade dieser Umstände wegen zu Beton besonders gut geeignet.

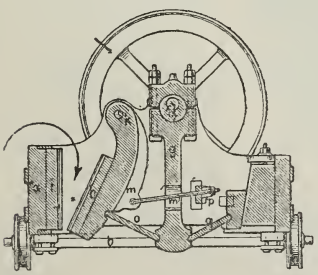
Je nach der Grösse der Stücke des Rohmaterials, der Packungsdichte usw. enthält die Kubikeinheit desselben 50—60 pCt. feste Masse und beziehungsweise von 50—40 pCt. Hohlräume. Wird die daraus hergestellte Schottermenge unsortirt gelassen, so ergiebt sich, verglichen mit der Menge des Rohmaterials, ein Mindermaass von 15—25 pCt. Wenn dagegen Sortirung nach 3 oder 4 Korngrössen stattfindet, so vergrössert sich die Summe der Hohlräume um so mehr, je feiner der Schotter ist, wie auch folgende, in dem Württembergischen Basaltwerk Urach ermittelte Zahlenwerthe erweisen:

1 cbm	Bruchstein	enthält	dort	58	pCt.	festes	Gestein	42	pCt.	Hohlräume,
1 „	Grobschotter	„	„	55	„	„	„	45	„	„
1 „	Normalschotter	„	„	53	„	„	„	47	„	„
1 „	Feinschotter	„	„	48	„	„	„	52	„	„
1 „	Kutter (Grus)	„	„	47	„	„	„	53	„	„

Dabei ergeben sich etwa folgende Mengen der verschiedenen Schottersorten: Grobschotter 24 pCt., Normalschotter 55 pCt., Feinschotter 11 pCt. und Kutter 10 pCt.

Diese Besonderheiten der Volumen-Verhältnisse, die selbstverständlich mit Gesteins-Art und -Form wechseln, müssen beachtet werden, wenn es sich um Ermittelung der erforderlichen Mengen des Rohmaterials, bezw. der anzunehmenden Hohlraum-Grössen des Schotters handelt, namentlich dann, wenn Sonderung des Schotters nach den verschiedenen Korngrössen stattfindet. —

Abb. 71.



Die Steinbrecher werden mit einseitigem oder auch zweiseitigem Brechmaul gebaut; erstere drücken die eingeworfenen Stücke während 1 Exzenter-Umgang 1, letztere 2mal; die stündliche Leistung im Vergleich zur Maschinenstärke wird davon aber nur wenig beeinflusst.

Auf 1 Pferdestärke Betriebskraft kann man bei mittelhartem Gestein

(Kalkstein) auf eine stündliche Leistung von 0,4—0,8 cbm, dagegen bei sehr hartem Gestein von nur 0,15—0,30 cbm rechnen.

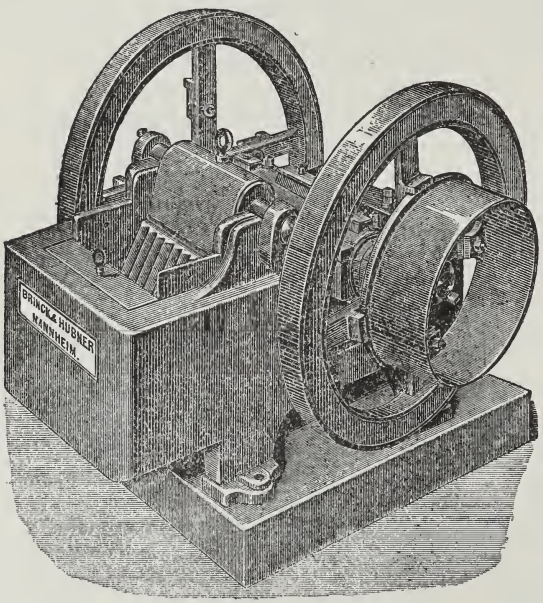
Die Maschinen machen 180—300 Umdrehungen in 1 Minute und selbst noch darüber; am gebräuchlichsten sind bisher etwa 200 Umdrehungen.

Abb. 71 stellt die innere Einrichtung eines fahrbaren Steinbrechers mit nur einem Brechmaul dar. Die Brechstange m und die Federn p dienen zum Zurückziehen des beweglichen Brechbackens (Leergang), die Stossplatte q und ein Keil, gegen welchen dieselbe sich spreizt, zur Regelung der unteren Brechmaulweite, wodurch die Korngrösse des Schotters bestimmt ist; diese untere Brechmaulweite wird für Betonschotter zu 4—6 cm anzunehmen sein. Wenn auch in den Einzelnheiten und in der Beschaffenheit des Materials Abweichungen stattfinden, so repräsentirt doch Abb. 71 den allgemeinen Typus eines Steinbrechers, von denen nachstehend ein paar in Gesammt-Ansichten mitgetheilt sind:

Abb. 72 giebt einen Steinbrecher der Firma Brinck & Hübner in Mannheim, welche solche Maschinen in mehreren Grössen-Abstufungen bauet, und zwar für Maschinen-Stärken von 1—12 Pferdekräften, deren stündliche Leistung von 1000—2000 kg bis 9000—18 000 kg Schotter betragen soll.

Abb. 73 stellt einen von Hand zu betreibenden Steinbrecher der Maschinenfabrik Humboldt in Kalk bei Cöln dar; auch von dieser Firma werden Steinbrecher in verschiedenen Grössen und für Sonderzwecke gebauet.

Abb. 72.

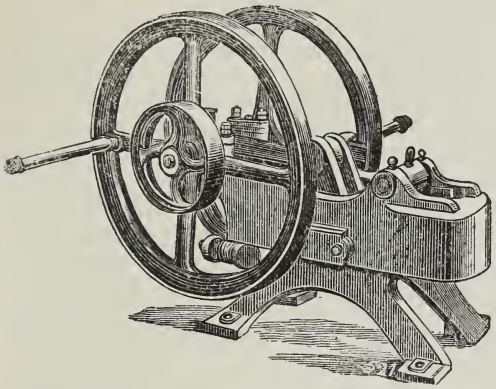


Im übrigen ist hinzu zu fügen, dass ausser den beiden genannten Firmen zahlreiche andere in Deutschland den Bau von Steinbrechern betreiben, so z. B. Gruson in Magdeburg, die Georgs-Marienhütte bei Osnabrück u. a. m.

Zum Sieben von Sand und Kies wird von Schlickeysen in Berlin ein sogen. automatisches Schwingsieb gebauet, welches von guter Leistungsfähigkeit ist, indem dasselbe in nur einmaligem Aufwurf drei Korngrössen liefert. Das in Abb. 74 dargestellte Sieb besteht aus einem festen Rahmen A, der durch Spreitzen etc. in die, der Sonderbeschaffenheit des Siebmaterials entsprechende Neigung gebracht wird. Auf dem Rahmen ist in 4 Zapfen das obere Sieb C gelagert und unter diesem, um einen Mittelzapfen drehbar, das (Schwing-) Sieb B; letzteres ist am unteren Ende durch eine Eisenschiene belastet. Diese Belastung bewirkt, abwechselnd mit

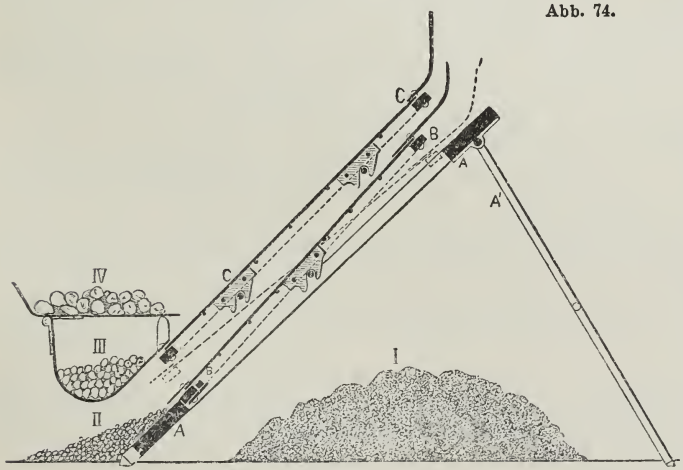
dem aufgeworfenen Siebgut, die schwingenden Bewegungen des Siebes und dadurch Sonderung der feineren Theile. Denn wenn eine Schaufel Siebgut auf die obere Hälfte des Siebes geworfen wird, so rollen die groben Theile in die am Fusse des festen Siebes C angebrachte Blechrinne ab und das, was durchfällt, drückt auf die obere Hälfte des Schwingsiebes, so dass diese sich senkt und mit einer gewissen Heftigkeit auf das Obertheil des Rahmens A schlägt. Eine gewisse Menge der feinen Theile fällt durch, wobei das obere Siebende so weit entlastet wird, dass das untere Ende wieder das Uebergewicht gewinnt und das Sieb in die ursprüngliche Lage zurückkehrt. Bei der wieder hergestellten steileren Neigung des Siebes rollen die mittelgroben Theile ab, während die Restmenge feinster Theile, welche darin noch enthalten ist, Gelegenheit und Zeit zum Durchfallen und Ansammlung unter dem Siebe erhält.

Abb. 73.



Es leuchtet ein, dass zur Erzielung guter Arbeit des automatischen Schwingsiebes sorgfältiges Ausprobiren bezüglich der passenden Neigung sowohl, als der Grösse des Gegengewichts am unteren Ende des Schwingsiebes erforderlich ist. —

Abb. 74.



Ausser den im Vorhergehenden näher besprochenen Geräthen und maschinellen Vorrichtungen umfasst die Bereitung und Verarbeitung von Beton noch Mancherlei, was auf Qualität und Oekonomie eines Betonbaues von mehr oder weniger Einfluss ist. Es gehören dahin z. B. Transportwagen, Hebemaschinen, schwimmende Versenkungs-Einrichtungen, Prähme mit Bodenklappen usw. Die Ausgestaltung dieser Einrichtung ist indessen in so hohem Maasse von den Besonderheiten des Falles beeinflusst, dass ein näheres Eingehen darauf hier ausgeschlossen ist und der Verweis auf die bezügliche Special-Litteratur genügen muss.

Bezüglich der Gestaltung von Transportwagen und Geräthen ist insbesondere auf Band 4 des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften von Franzius und Sonne zu verweisen, daneben auf Brennecke Grundbau. Im erstgenannten Werke sind auch manche Angaben über Einzel-Ausführungen in Betonbau enthalten.

Der Transport und das Versenken von sogen. Sackblöcken — S. 108 — kann nur mit Schiffen welche Bodenklappen haben und mit einem Motor, der zur Fortbewegung, sowie zur Handhabung der Bodenklappen ausgerüstet ist, erfolgen. In Newhaven wurden Sackblöcke der enormen Grösse von 45 cbm mit solchen Schiffen versenkt. Einiges Nähere zu solchen aussergewöhnlichen Einrichtungen ist mit Bezug auf Sonderbeispiele mitgetheilt in der mehrfach angeführten Schrift: Concrete as applied in the Construction of Harbours, Exc. Min. of Proceed. of the Inst. of Civ.-Engineers; London 1886.

Bei den Hebe-Vorrichtungen, Krähnen, Paternosterwerken, welche für den Zweck der Ausführung von Betonbauten in Betracht kommen, ist in häufigen Fällen grosse Beweglichkeit erforderlich um dieselben bei eintretender Gefährdung durch Unwetter rasch in Sicherheit bringen zu können; in solchen Fällen ist man durchaus auf die Benutzung von Dampfkraft zum Betriebe der Hebewerke angewiesen.

In England sind für solche Zwecke Krähne von ganz aussergewöhnlicher Leistungsfähigkeit erbauet worden; für den Hafenbau in Dublin z. B. ein schwimmender Krahn, welcher Blöcke von 1000 Z. (à 50 kg) hebt und ebendaselbst auf Fahrzeugen montirte Krähne anderer Art für 2000—2400 Z. Tragkraft. Anderweit sind in England Krähne für Versetzen von Betonblöcken mit 28 m (!) Ausladung und 1000 Z. Tragkraft erbauet worden. Auch hierzu ist auf die mehrgenannte Schrift Concrete as applied usw. zu verweisen.

Was endlich die Gesammtheit der Einrichtung grösserer Werk- und Bauplätze für Beton-Bereitung und -Verarbeitung betrifft, so ist hierzu folgende Litteratur anzuführen:

Études sur les ports de mer et la fabrication des blocs de béton in Nouvelles annales de la construction, 1866.

Étude sur les ports de mer artificiels et la fabrication des blocs de béton pour la construction des travaux à la mer in Nouvelles annales de la construction, 1866 u. 1867.

Travaux hydrauliques maritimes par M. M. G. Latour et Gassend; Marseille 1860.

Bereitung von Betonblöcken für den Bau des Hafens von Fiume in der Zeitschr. des österreich. Ingenieur- und Architekten-Vereins, Jahrgang 1874.

Der Bau der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, Jahrg. 1891.

Hagen, Handbuch der Wasserbaukunst, Band IV.

Der Seebau; im Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften von Franzius und Sonne (insbes. Bd. 4).

Brennecke, Der Grundbau.

h. Platten, Estriche, Cementwaaren.

Die Materialien zu Platten, Estrichen und Cementwaaren aller Art, bedürfen besonderer Sorgfalt in der Auswahl und Behandlung. Wenn der Untergrund von Natur unwandelbar oder durch Herstellung einer künstlichen Unterlage unwandelbar gemacht ist, werden Platten und Estriche nur auf Abnutzung beansprucht und müssen daher in der Ober-

fläche (vergl. S. 86 ff.) aus einer ziemlich fetten Mischung bestehen, während nach der Unterseite hin die Mischung magerer sein kann. Diese Ungleichheit in der Mischung ist jedoch erst bei grösserer Dicke von ökonomischer Bedeutung, indem die dabei stattfindende Ersparung an Mörtel durch eine Erhöhung der Fabrikationskosten zum Theil wieder aufgehoben wird; deshalb werden auch Estriche und Platten oft eintheilig in der Masse hergestellt und wird nur oben eine dünne Schicht fetten Mörtels aufgetragen und glatt gerieben.

Der Cement muss langsam bindend, der Sand soll grobkörnig und scharf sein; feiner Sand, besonders von rundlichem Korn, ist für diese Zwecke ungeeignet. Daher werden häufig Platten und Estriche nur aus Cement und Kies hergestellt, was selbstverständlich voraussetzt, dass der Kies einen gewissen Sandantheil enthält; der Kies darf auch nicht sehr grobkörnig sein. Die Verwendung von Schotter, selbst von ziemlich fein geschlagenem, wird meist ausgeschlossen sein. Von Wichtigkeit ist ferner eine gewisse Gleichmässigkeit in der Grösse der Kieskörner, weil, wenn dies nicht der Fall, sich Verschiedenheiten in der Abnutzung zu zeigen pflegen. Es wird sich daher meist empfehlen, den zu Platten bestimmten Kies zu sieben. Sehr zu empfehlen ist auch das Waschen desselben.

Das Mischungsverhältniss darf an der Oberfläche nicht unter 1 Cement auf 1 Theil Sand (oder Kies) hinabgehen (s. S. 87), während in der tiefer liegenden Masse je nach der Dicke des Estrichs oder der Platten 1 Cement auf 4—8 Theile Sand oder Kies genügt. Der Wasserzusatz ist auf das Nothwendigste zu beschränken.

Wenn die Dicke des Estrichs oder der Platten ein gewisses Maass überschreitet (etwa 5 cm), ist es vortheilhaft Stampfen zu Hülfe zu nehmen, was indessen bei solch dünnen Schichten besonders vorsichtig, sowohl mit Bezug auf die Schwere der Stampfer, als auch die Dauer der Stampfarbeit ausgeführt werden muss.

Findet Herstellung in zwei Schichten statt, so muss die zweite Schicht möglichst rasch aufgebracht werden; bei Herstellung von Estrichen in grössern Flächen bedingt dies eine sehr sorgfältige Disposition des Arbeitsvorganges.

Wo der Grund wandelbar ist, wird Plattenbelag im Vorzuge vor Estrich sein. Wandelbarkeit des Grundes (die auch durch Wechsel der Feuchtigkeit in demselben hervorgerufen werden kann) machen sowohl für Plattenbelag als Estriche besondere Schutz-Vorkehrungen erforderlich.

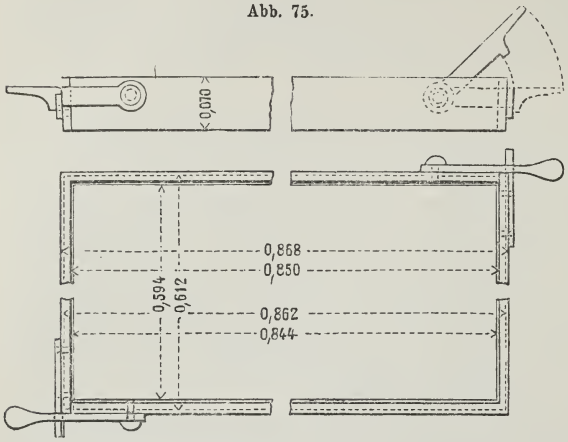
Bei geringer Wandelbarkeit genügt es, die — nicht allzu engen — Fugen in den Platten offen zu lassen; auch können in dieselben — wie es in Amerika häufig geschieht, — Streifen aus dicker Theerpappe, oder 7—8 mm dicke Stäbchen aus Weichholz eingelegt werden; dies Mittel sichert die Platten wenigstens vor dem „Abplatzen“ der Kanten. Estrichflächen wird man in nicht zu grossen Abständen theilen und kann dann die Theilungen gleich den Fugen zwischen Platten behandeln.

Bei grösserer Wandelbarkeit des Grundes ist eine isolirende und gleichzeitig die Feuchtigkeit ableitende Schicht aus grobem Kies oder Schlacken anzuwenden, welche mindestens 25 cm Stärke erhalten muss. An Stelle der Sand- oder Kiesunterbettung hat man in Breslau — auch in englischen Städten — eine solche aus zerkleinerter Koke hergestellt, und in Montreal aus Sägespähnen.[1]) Man hob den Grund reichlich 0,75 m tief aus und brachte in die Tiefe eine 0,60 m starke Lage von Sägespähnen,

[1]) St. George, On the Street and Footwalk-Parements of Montreal.

welche festgewalzt ward. Hierauf folgte eine Betonlage von 15 cm Stärke und auf dieser eine 6 cm starke Mörtelschicht, die man in Grössen von etwa 1,2 m theilte, so dass zwischen den Theilen Fugen von 12 mm Weite verblieben. Die Kosten betrugen 17 M. 1 qm. Der Erfolg wird als sehr günstig bezeichnet; dies ist nur möglich, weil die 15 cm starke Betonlage „in sich" die ausreichende Tragfähigkeit besitzt. Nur ganz ausnahmsweise Verhältnisse können eine solche Ausführungsweise rechtfertigen. —

Abb. 75.



Die Plattengrösse nimmt man nicht leicht unter 20 und über 80 cm Seitenlänge, bei 4 bis 8 cm Dicke. Zu Platten werden eiserne zerlegbare Formen benutzt, etwa nach der Einrichtung Abb. 75, welche beim Hamburger Ingenieurwesen in Gebrauch ist. Als Unterlage der Form dient dort eine mit Sand bestreute Sandsteinplatte; die Innenseite der Form wird eingeölt. Die Mischung ist 1 Cem. auf 4—4½ Th. Kies; die Oberfläche wird mit einer fettern Mörtelmischung glatt gerieben. Bei öfterm Annässen der Platten bleiben diese 7 Tage auf der Sandstein-Unterlage liegen und werden darnach in stehender Stellung bis zum Zeitpunkte der Verwendung aufbewahrt; sie sind so vor dem Zutritt der Sonnenstrahlen und Austrocknung gut geschützt. Lange Lagerzeit der Platten wirkt günstig.

Bei gewöhnlichen Preisen der Materialien und Arbeitslöhne stellt sich 1 qm Plattenbelag fertig verlegt auf etwa 4 M. —

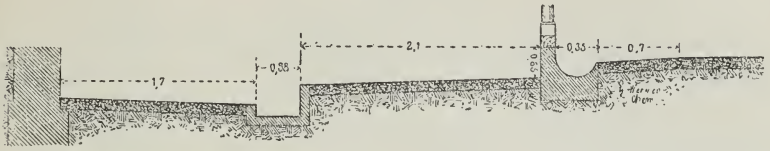
Estrich für Gehwege wird in der Regel in zwei Schichten hergestellt: einer unteren, mageren Betonschicht von 6—10 cm, welche gut gestampft wird und einer oberen fetten Schicht aus Mörtel nicht unter 1 : 1,5 in 1,5 bis 2,5 cm Stärke, welche gewalzt oder glatt gerieben wird; das Abreiben darf nur mässig geschehen. Nachdem dasselbe beendet ist und der Cement gut abgebunden hat, wird vorsichtig eine deckende Schicht Sand von etwa 10 cm Stärke aufgeschüttet, die man mehrere Tage lang auf dem Estrich belässt und öfter annässt; erst darnach wird der Estrich der Benutzung übergeben.

Cement-Estrich in geschlossenen Räumen muss von beweglichen Substruktionen (Eisenbalken) durch eine Sand- oder Kiesschicht isolirt werden; Cementestrich auf Holzbalken ist bei der grossen Elastizität dieser nicht haltbar. Der Estrich wird zwischen Leisten eingebracht. Weder darf der Mörtel sehr nass sein, noch nach dem Einbringen stark gerieben werden. Die Unterlage muss aber gut angefeuchtet und auch der Estrich in den ersten Tagen nach der Herstellung öfter genässt werden. (Vergl. S. 85). Estrich in Maschinenstuben, der nicht allzu stark belaufen wird, findet man vielfach mit Oelfarbenanstrich versehen, was insbesondere der Reinlichkeit dient.

Fig. 76 stellt die Anordnung des Estrichs und der in denselben ein-

gefügten Krippen und Rinnen in der Frankfurter Milchkuranstalt dar. Die Stärke des Betonbettes mit Estrich beträgt 10 cm. (Ausführung der früheren Firma Diss & Wayss in Frankfurt a. M.)

Abb. 76.



In Souterrain-Räumen werden Cement-Estriche oft mit zu dem Zwecke ausgeführt, um den Zutritt von Grund- oder Quellwasser zu verhindern und müssen alsdann eine gegen Druck von unten wirkende Form erhalten. Einige Schwierigkeiten bietet es, den Beton an die Umfangswände und an etwaige Pfeilerfundamente, die in der Fläche liegen, wasserdicht anzuschliessen, besonders wenn das Gebäude auf wandelbarem Grunde errichtet ist. Hier ist die allergrösste Sorgfalt geboten, um des Erfolgs sicher sein zu können. Das Verfahren der Herstellung wasserdichter Keller-Fussböden aus Cement soll an ein paar Beispielen klar gelegt werden.

Fig. 77—79 stellen die Ausführung in dem Kellergeschoss des unmittelbar am offenen Wasser liegenden Fabrikgebäudes des „Eisenwerks vormals Nagel & Kämp“ in Hamburg dar. Der Wasserandrang erfolgt von dem, hinter dem Fabrikgebäude stark ansteigenden Gelände her; die Wasser-Säule erreicht etwa 0,60 m Höhe. Ausser der Wasserabhaltung war es Zweck, den Fussboden für schwere Belastung durch Maschinentheile tragfähig zu machen. Ein Theil des Gebäudes steht auf moorigem Grunde, der andere auf tragfähigem Sandboden; darnach ist die Fussboden-Konstruktion verschieden eingerichtet In dem auf Moorgrund stehenden Theile sind zwischen den Pfeilern Gurtbögen aus Beton gespannt, und

Abb. 77.

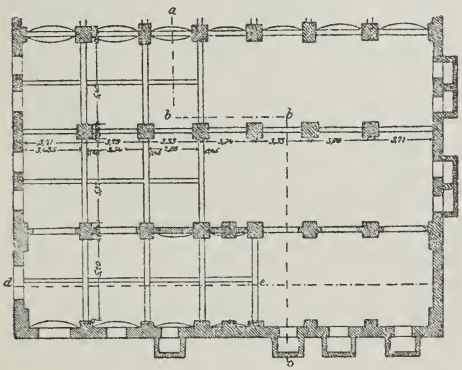
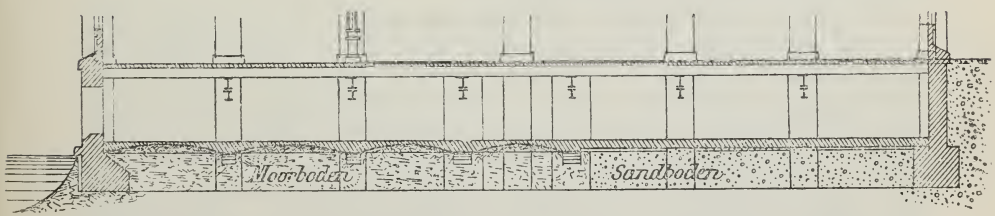


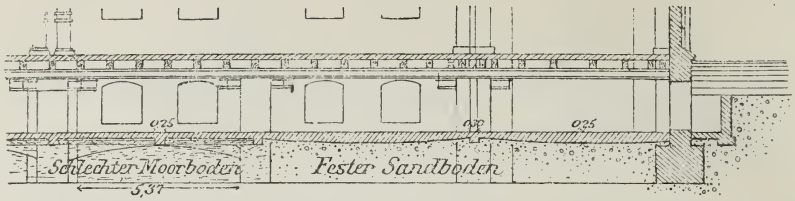
Abb. 78.



zwischen diesen Betonkappen, welche in halber Länge sowohl als an den Enden nach der Unterseite gehende Verstärkungsringe erhalten haben. In dem auf tragfähigem Sandboden liegenden Theile des Fussbodens sind in der einen Richtung zwischen den Pfeilern Rippen gelegt,

gegen welche die Stirnen von in der Mitte verstärkten geraden Bahnen sich legen, deren Verstärkung ebenfalls nach der Unterseite gerichtet ist.

Abb. 79.



Die Böden wurden zweitheilig ausgeführt; in dem unteren Theil aus der magern Mischung 1 Th. Cement, 6 Th. Kiessand und 8 Th. Schotter, in dem oberen aus 1 Th. Cement und 1,5 Th. Sand. (Ausführung von der Firma Dyckerhoff & Widmann in Biebrich.)

Abb. 80.

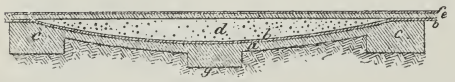
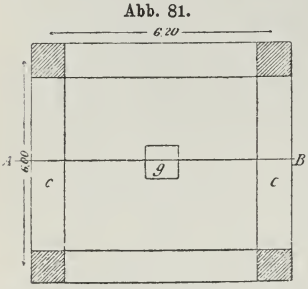


Fig. 80—81 stellen die Fussboden-Konstruktion in der Markthalle IV (an der Dorotheen-Strasse) in Berlin dar, welcher unter dem Spiegel der nahe vorbei fliessenden Spree liegt und in etwa 5000 qm Ausdehnung hergestellt ward; doch kommen auch anderweit in Berlin gleichartige Ausführungen mehrfach vor. Zwischen den etwa 6 m weit stehenden Pfeilern sind umgekehrte Bögen (*c*) aus Beton geschlagen, zwischen welchen 12 cm starke umgekehrte Betonkappen von 35 cm Stich gelegt sind, die in der Mitte — der Bruchsicherheit wegen, wenn das Hochwasser zurückgeht — durch niedrige Pfeiler (*g*) unterstützt werden. Auf der frei liegenden innern Leibung ist ein wasserdichter Putz (*b*) von 2,5 cm Stärke hergestellt, dessen Oberfläche mit ungemagertem Mörtel geglättet ward. Der Hohlraum der Kappen ist mit einer Mischung aus Sand und Ziegelschotter aufgefüllt, welche abgeglichen und gestampft ist. Diese Schüttung dient sowohl als Unterlage des eigentlichen Fussbodens als auch zu einer gewissen Belastung der Kappen gegen den Wasserdruck von unten. Der — gerade — Fussboden besteht aus einer 8 cm starken Betonschicht, auf welcher der 2 cm starke Estrich liegt.

Abb. 81.



Die hier durchgeführte vollständige Trennung des Fussbodens von der Unterlage bietet den Vortheil, dass, wenn der — starker Abnutzung unterworfene — Fussboden reparaturbedürftig wird, die Unterlage von der Reparatur unberührt bleibt. — Die Umfangswände des Gebäudes sind 90 cm hoch mit Cement geputzt, welcher mit Stahlkellen geglättet ward. (Ausführung von der Firma A. Schmidt & Co. in Berlin.)

Eine sehr ähnliche Fussbodenkonstruktion ist in den Kellern des Zollfreien Niederlagsgebäudes im Hafen von Mainz ausgeführt. Die zwischen den gemauerten Bögen gelegten umgekehrten Betonkappen haben 20 cm Stärke und der Hohlraum derselben ist mit Rheinsand ausgefüllt. Der hierauf liegende Arbeitsbohen aus Beton (1 Th. Cement, 2 Th. Sand und 5 Th. Rheingeschiebe) hat 10 cm Stärke und ist mit einem Estrich von

2 cm Stärke überzogen. Dieser Fussboden liegt 1,7 m unter dem Hochwasserstande des Rheins.

Sehr ausgedehnt wird Beton neuerdings als Unterlage für Holz-, Stein- und Asphalt-Pflaster, Asphalt-Estriche der Bürgersteige usw. benutzt.

Als Unterlage für Asphaltirung der Bürgersteige hat man früher häufig Flachpflaster aus Ziegelstein verwendet, eine Unterlage, die sich an Güte nicht entfernt mit der der Betonunterlage messen kann. Denn Ziegelsteine sind in Bezug auf Härte, Wasseraufnahmefähigkeit und Frostbeständigkeit sehr ungleich und leiden öfter auch an Auskristallisirungen, alles Umstände, die der Hauptanforderung an die Unterlage: Unwandelbarkeit zuwider laufen, während bei Beton diese Anforderung in hohem Maasse erfüllt ist. Doch ist dabei vorausgesetzt, dass Schotter aus wetterbeständigem Naturstein — nicht etwa aus Ziegelstein oder wenig festem Kalkstein — benutzt ward; selbst viele Sandsteine sind wegen ihrer grossen Wasseraufnahmefähigkeit zur Verwendung für den vorliegenden Zweck ungeeignet. Ausser der Beständigkeit, welche den Beton als Unterlage für Asphaltpflaster empfiehlt, ist noch die gute Haftfähigkeit, welche zwischen Asphalt und Beton besteht, eine Eigenschaft von wesentlicher Bedeutung.

Zur Unterbettung von Fahrstrassen mit Asphaltpflaster hat man im Anfang zuweilen unnöthig starke Betonschichten benutzt, so z. B. in Budapest in Strassen mit nur leichtem Wagenverkehr solche von 25 cm Stärke, bei 6—7 cm Stärke der Asphaltschicht. Auf Grund von ausgedehnten Erfahrungen geht man neuerdings selbst in Strassen für sehr schweren Wagenverkehr nicht über 20 cm hinaus. Beinahe ausschliesslich wird zu Asphaltpflaster-Unterbettungen Kiesbeton verwendet aus Kies, der den Sand in richtigem Verhältniss von Natur beigemischt enthält, oder dessen richtige Mischung künstlich hergestellt wird. Bearbeiten mit Stampfern ist nicht üblich; die dichte Lagerung wird erzielt, indem heftiges Einwerfen der Masse in kleinen Portionen, sowie starkes Festklopfen mit den schweren Schaufeln erfolgt. Die Mischung wechselt zwischen 1 Cem. 6 Kies und 1 Cem. zu 8 Kies. Es ist von besonderer Wichtigkeit, den Wasserzusatz auf das Nothwendigste zu beschränken, da hiervon theilweise die Länge des Zeitraums abhängig ist, welcher verfliessen muss, bis die Asphaltdecke aufgelegt werden darf. Geschieht dies nämlich zu früh, zu einem Zeitpunkt, wo der Beton noch ungebundenes Wasser enthält, so werden beim Auftragen der hoch erhitzten Asphaltmasse (gleichgültig ob von Guss- oder Pulverform), Dämpfe entwickelt, welche entweder Hohlräume unter oder in der Asphaltschicht entstehen lassen, oder diese durchdringen und dabei den Zusammenhang der Masse beeinträchtigen. Von dem Abwarten des richtigen Zeitpunktes, bis der Beton trocken ist, hängt die Güte der Asphaltstrasse in ebenso hohem Grade als von anderen Umständen ab.

Von keiner besonderen Bedeutung ist dagegen der Trockenheitszustand des Betons wenn derselbe zur Unterbettung von Steinpflaster benutzt wird, zumal wenn zwischen Beton-Oberfläche und Pflasterstein-Unterfläche zur Ausgleichung von kleinen Höhenunterschieden der Steinwürfel eine schwache Kiesschicht gebracht wird, oder auch in besonderen Fällen ein regelrechtes Vermauern der Steinwürfel in Cementmörtel auf der Betonschicht stattfindet. Für Betonschichten unter Steinpflaster genügt eine etwas geringere Stärke als für diejenige unter Asphaltpflaster, oder bei gleicher Stärke eine weniger fette Mischung des Betons — etwa 1 Th. Cement, 4 Th. Sand und 6—8 Th. Kies.

Besondere Sorgfalt wiederum muss der Betonbereitung und -Ver-

arbeitung zugewendet werden, wenn es sich um Unterbettungen für Holzpflaster handelt. Denn es darf die Betonlage kein Wasser von unten aus zum Holze treten lassen und es muss ferner die Oberfläche so eben und glatt sein, dass die Holzklötze ohne die Abgleichung durch eine Zwischenlage aufgestellt werden können. Die Betonmischung muss daher ziemlich fett genommen und die Oberfläche mit fettem Mörtel — nicht mit einem „Mörtel-Guss" — abgeglichen werden. (Einzeln hat man dazu auch wohl einen Guss von Bitumen verwendet.) In australischen Städten (Sidney) legt man unter Holzpflaster eine Betonschicht von 15 cm Stärke, auf welche man einen regelrechten Mörtelputz aufträgt.

Neuerdings ist es vielfach ausgeführt worden, die Fugen des Holzpflasters mit flüssigem Cementmörtel zu vergiessen. Die gute Eignung des Cements für diesen Zweck ist aber sehr fragwürdig.

In Breslau, wo Koke sehr geringwerthig ist, hat man dieselbe in zerkleinertem Zustande an Stelle von Steinschotter für Beton-Unterbettungen der Holzpflasterungen von Fahrstrassen und von Asphaltpflaster auf Bürgersteigen benutzt; bei ersteren wurde der Unterbettung 20, bei letzteren 10 cm Stärke gegeben. Ueber den Erfolg ist nichts Näheres bekannt geworden; als gut geeignet für diesen Zweck kann Koke wohl nicht allgemein gelten.

Der Cement zur Cementwaaren-Fabrikation muss von feiner Mahlung, gleichmässiger Färbung, sehr langsam bindend und durchaus volumenbeständig sein. Vorsichts halber wird man denselben nur abgelagert verwenden und sich wo möglich auch Gewissheit über die etwaige Entstehung von Ausschlägen verschaffen. Der Sand zu den Fliesen höherer Qualität muss von gleichmässig feinem aber scharfem Korn sein und darf nur in gewaschenem Zustand verwendet werden; das Nämliche gilt sinngemäss für den Kies oder Schotter; dasAnmachewasser muss rein sein und darf nur in knappster Menge zugesetzt werden.

Farben — welche insbesondere für die Fliesen-Fabrikation benutzt werden — müssen indifferent gegen Alkalien und mässig im Preise sein. Nur mineralische Farben sind gebrauchsfähig; alle Saftfarben werden von den Alkalien des Cements zerstört. Im allgemeinen schwächen Farbenzusätze die Festigkeit; daher soll man in den Mengen des Farbstoffs nicht weiter gehen, als unbedingt nöthig ist. Auf die Schädigung der Volumenbeständigkeit, welche aus einem Zusatz von Caput mortuum möglicherweise entstehen kann, ist bereits S. 33 aufmerksam gemacht worden. Nur ein einziger unter den zum Färben von Cement gebrauchsfähigen Farbstoffen beeinflusst dessen Festigkeit günstig; es ist dies das Ultramarin, welches daher in sehr hohem Antheile zugesetzt werden kann, ohne dass die Gefahr einer Schädigung entsteht.

Die üblichen Farbstoffe und die Mengen, in welchen dieselben öfterer angewendet werden, sind nachstehend angegeben:

Braunstein und Cementschwarz (Kohle) .	12	Procent.
Caput mortuum (Eisenroth, Englisch Roth)	6	„
Ocker (gelb und braun)	6	„
Ultramarin, grün	6	„
„ blau	5	„

Ausser durch pulverförmige Zusätze können Färbungen von Cement hergestellt werden indem man als Anmache-Wasser entsprechende Lösungen von Salzen und hernach beim Poliren andere Flüssigkeiten benutzt, welche in Verbindungen mit jenen Salzlösungen die Färbungen erzeugen.

Weisser Portland-Cement ist bisher wegen zu hoher Kosten im

Grossen nicht hergestellt worden; was als weisser Cement vereinzelt in den Handel gebracht wird, sind Surrogate, bei deren Gebrauch grosse Vorsicht angewendet werden muss. Um möglichst helle Farbe von Cementgegenständen zu erzielen, wird man hellfarbige Marken auswählen und durch Zusatz von weissem Sand oder Marmorstaub die Hellfarbigkeit, so weit thunlich, erhöhen.

Farbige Cement-Fliesen werden in sehr verschiedenen Arten hergestellt:

1. als einfarbige Fliesen, bei denen die ganze Masse des Stückes oder auch nur eine dünne obere Schicht gefärbt ist, oder:
2. als gemusterte Fliesen, bei denen durch Benutzung von Schablonen aus Zinkblech und zuvor gefärbtem Mörtel ein- und mehrfarbige geometrische Muster hergestellt werden, oder:
3. als Terrazzo-Fliesen, bei denen meist neben einer Grundfärbung der Masse durch Einstreuen oder Einsetzen von farbigen Steinstückchen und Kieskörnern (Marmor, Granit u. s. w.) buntes Aussehen oder Musterung erzielt wird, oder:
4. als marmorirte Fliesen, bei denen durch Herstellung verschiedenfarbiger Mörtel, Zusammenkneten und Ausrollen derselben, marmorähnliche Färbungen hergestellt werden, oder endlich:
5. als Mosaik-Fliesen. Hierbei werden entweder farbige Würfel aus Cementmörtel, die auf einer Maschine in gleichen Abmessungen geschnitten sind, mit Hülfe von Schablonen oder Kartons in eine Mörtelunterlage eingedrückt, wobei entweder der Grund ganz bedeckt wird, oder theils frei bleibt und an diesen Stellen die farblose oder gefärbte Unterlage sich zeigt, — oder es werden anstatt der Würfelchen (Stifte) aus Cement solche aus gebranntem Thon, aus Glas, Mormor u. s. w. benutzt, während die Herstellung im übrigen wie vor erfolgt.

Die zu 1 und 2 genannten Fliesenarten werden in grober und feiner Waare in mehreren Abstufungen dargestellt; wohl immer wird der Druck hydraulischer Pressen dabei zu Hülfe genommen und sind eiserne Formen nothwendig. Zuweilen finden besondere Behandlungen der sichtbaren Fläche statt, indem man den Farben durch Tränkung mit gewissen Substanzen (z. B. Wasserglas) eine grössere Intensität verschafft oder den Schall der Fliesen dämpft, oder indem man die durch Schleifen verbessert. Auch wird auf die Oberfläche eines frischen Stücks wohl die Farbe, mit Cementpulver gemischt, in dünner Schicht aufgesiebt und diese dann eingerieben bezw. polirt.

Zum Schleifen dienen Sandsteinstücke, deren Korngrösse man mit fortschreitender Arbeit feiner nimmt. Zum Poliren wird Cementpulver, unter Benutzung einer geeigneten Flüssigkeit (gewöhnlich wohl einer Wasserglas-Lösung) benutzt.

Feinere Fliesen werden oft auf geschliffener Spiegelglasplatte gegossen, die mit Oel leicht angefeuchtet ist.

Mosaikfliesen werden ohne Schliff oder Politur verwendet.

Anstatt Terrazzo- und Mosaik-Fliesen werden zuweilen auch Füllungen, Medaillons, Estriche u. s. w. in gleicher Weise hergestellt, wobei in den Verfahrungsweisen keine grundsätzlichen Abweichungen stattfinden. —

Terrazzo ist auf eine Stampfbeton-Unterlage von 5—6 cm Stärke aufzutragen. Die Steinstückchen (Marmor oder sonstiger Naturstein) von 0,5—0,6 cm Grösse, werden entweder mit der Masse zu einer gleich-

förmigen Mischung verarbeitet, oder in Musterungen in den noch weichen Cement eingedrückt, der selbstverständlich sehr langsam bindend sein muss.

Dachplatten aus Cement, entweder ganz glatt wie Schiefertafeln oder mit Leisten und Nuthen auf der Rückseite ähnlich den Holzziegeln, werden durch Pressen hergestellt; ebenso andere Formen, welche denen der Dachpfannen sich nähern. Die Cement-Dachplatten aller Formen, wie sie von verschiedenen Fabriken geliefert werden, besitzen der gebrannten Waare gegenüber den Vorzug sehr exakter Form, welche die Wasserdichtigkeit der damit eingedeckten Dächer erhöhet. Sie sind ausserdem von geringerem Gewicht. —

Cementwaaren fürs Freie, wie figurliche Gegenstände, Architekturtheile usw. dürfen nie aus ungemagertem Cement, sondern müssen mit Sandzusatz hergestellt werden, auch in der Oberfläche, für welche bei manchen Gegenständen ein feineres Aussehen erwünscht ist. Wenn die Oberfläche aus ungemagertem Mörtel besteht, bildet sich eine dichtere, vergleichsweise als „glasig" zu bezeichnende Schicht, welche sich nach und nach mit Haarrissen bedeckt und sehr unansehnlich wird, wenngleich die Haarrisse die Haltbarkeit des Gegenstandes nicht leicht beeinträchtigen. Bei Magerung der Masse mit feinem, jedoch scharfem Sande und im übrigen richtiger Fabrikationsweise werden solche Haarrisse vermieden, ohne dass das Aussehen der Stücke ungünstig wird. Eine gewisse Körnigkeit der Oberfläche ist der glatten, glasigen Oberfläche auch im Aussehen vorzuziehen. Die Verwendung von rasch bindendem Cement im ungemagerten Zustande, und mit hohem Wasserzusatz, die rasche Herausnahme der Stücke aus der Form und die häufige Abgabe der Stücke noch bevor dieselben die nöthige Festigkeit erreicht haben, sind grobe Fehler bei der Cementwaaren-Fabrikation, die früher vielfach begangen wurden und welche den Cementwaaren an manchen Stellen ein unverdientes Misstrauen zugezogen haben. Seitdem an die Stelle dieser älteren, fehlerhaften Fabrikationsweise meist eine rationelle getreten ist, hat dies Misstrauen aufgehört, bewähren sich die Cementwaaren durchgehends und erobern sich bei ihrem niedrigen Preise ein immer mehr wachsendes Absatzgebiet, zumal sie zu Bautheilen, welche noch vor etwa 20 Jahren fast nur in Sandstein hergestellt wurden, gegenwärtig selbst bei Bau-Ausführungen hoch künstlerischen Ranges Verwendung finden.

Die beiden Abbildungen 82—83 stellen zwei derartige Ausführungen dar. Abb. 82 giebt die von den Architekten Kayser und v. Groszheim zu Berlin entworfenen Füllungen für die strassenseitigen Stirnen von 5 Bögen der Berliner Stadtbahn unmittelbar bei dem Bahnhof Friedrichstrasse (an der Georgenstrasse) zu Berlin; in den fünf dahinter liegenden Bogenräumen ist das bekannte Restaurations-Lokal „Zum Franziskaner" eingerichtet, welches seit etwa 10 Jahren besteht. Die kräftigen, sehr bewegt gehaltenen Formen und Profile bieten nicht nur dem Einfluss von Wind und Wetter, sondern auch — bei ihrem unmittelbaren Herantritt an einen lebhaften Strassenverkehr — den Beschädigungen durch Muthwillen oder Fahrlässigkeit reichliche Gelegenheit und vielfache Angriffspunkte. Dass sie bis jetzt in jeder Hinsicht intakt und von Schäden an ihnen nicht die Spur zu bemerken ist, enthält gewiss einen vollgiltigen Beweis für die besondere Güte dieser Leistung.

Abb. 83 stellt einen Theil der Strassenfaçade des Künstlerhauses zum St. Lucas an der Fasanen-Strasse in Charlottenburg dar, entworfen und ausgeführt von dem Architekten B. Sehring zu Berlin. Das Portal,

die Fenster-Einfassungen, die beiden Löwen-Figuren und die sonst im Bilde zu bemerkenden Schmucktheile sind aus Cement gefertigt. Das Gebäude

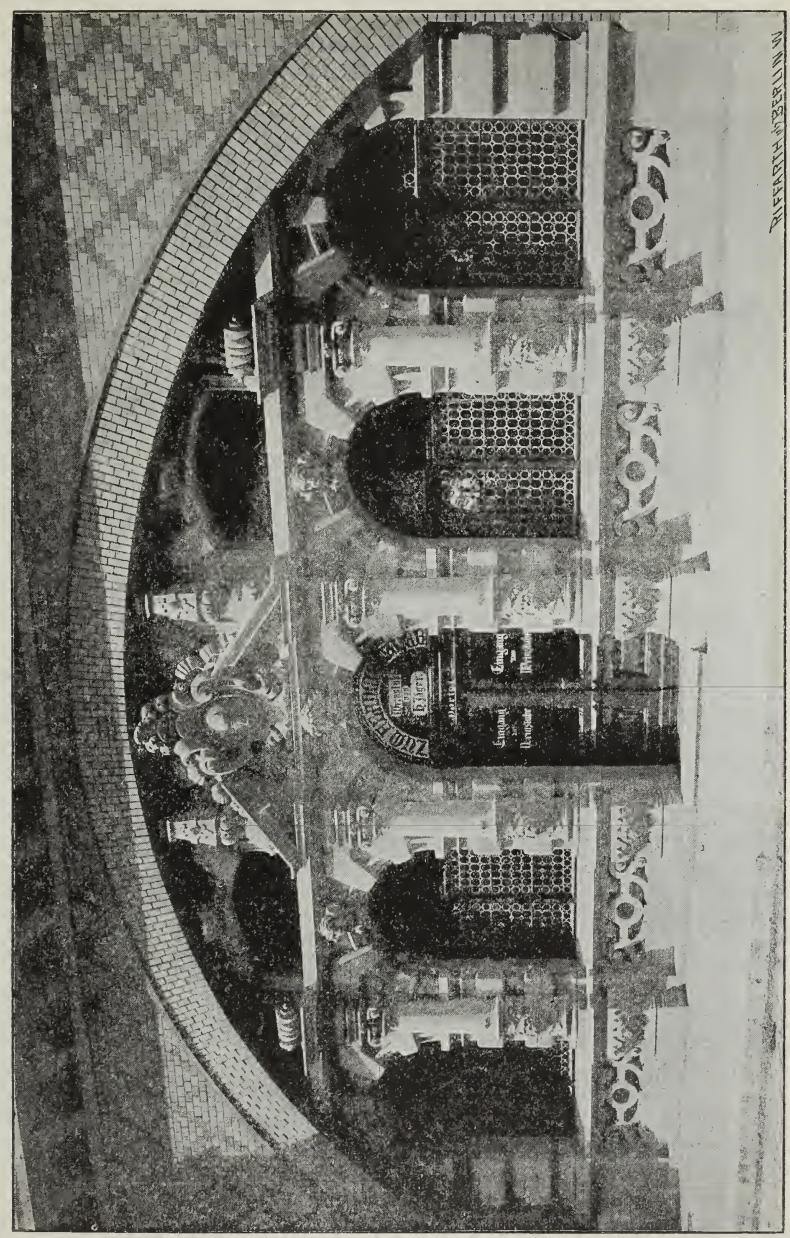


Abb. 82.

ist zu Ende der 80er Jahre erbaut worden. In dem weiten Hofe, den dasselbe eins chliesst, sind zahlreiche andere Schmuckgegenstände aller Art

aus Cement theils eingebaut, theils frei stehend verwendet, die malerische Zuthaten von hohem künstlerischen Reiz bilden.

Die Formen an schmückenden Gegenständen aus Cement können zwar sehr mannigfaltig sein; die Herstellung selbst der verwickeltsten Formen, welche bei Ausführung in Naturstein fast unerschwingliche Kosten verursachen würde, ist in Cement ohne besondere Schwierigkeiten und darum

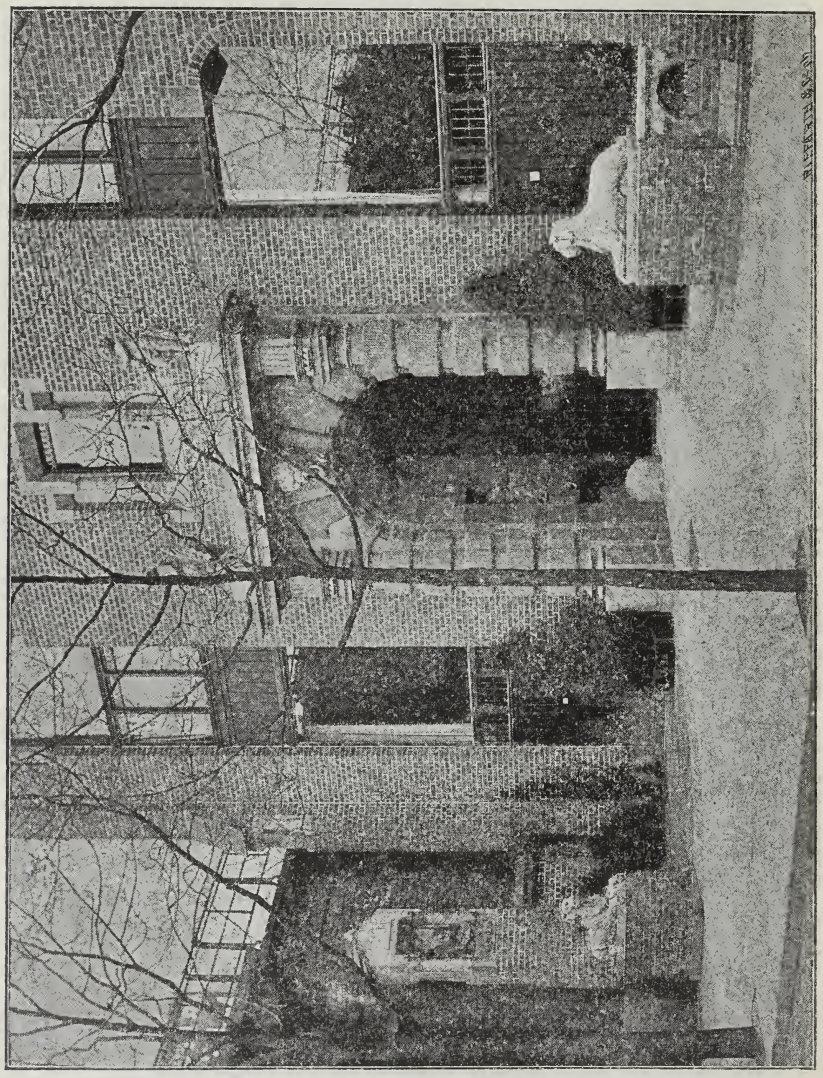


Abb. 83.

auch ohne besondere Kostspieligkeit erreichbar; nur muss dabei Rücksicht auf den Umstand genommen werden, dass die Zugfestigkeit des Cements relativ gering ist. Es müssen demzufolge sogen. „freie“ Formen und weite Ausladungen (ebenso wie bei Sandstein), starke Einschnürungen, Unterschneidungen usw. thunlichst vermieden werden, da die Anwendung des

Hilfsmittels der Einbettung von Eisen in die Masse im allgemeinen zu verwerten ist, weil, wenn später etwa Feuchtigkeit zu demselben Zutritt gewinnt, die Zerstörung beginnt. Gegen diese Gefahr ist daher in Fällen, wo auf den Gebrauch von Eiseneinlagen nicht verzichtet werden kann, mit der grössten Sorgfalt vorzukehren.

Je mehr Pressung angewendet werden kann, je günstiger ist dies für die Güte der Stücke. Bei Benutzung von Leimformen muss Pressung unterbleiben; sie sind daher nur für untergeordnete Gegenstände oder Details bei besonders verwickelter Form anwendbar. Für manche Gegenstände lassen sich ihrer Gestalt nach hölzerne Formen benutzen, für andere nur eiserne. Die in Holz- und Eisenformen herstellungsfähigen Gegenstände müssen einigermaassen regelmässige Gestalt haben. Für viele Gegenstände von verwickelter Gestalt, namentlich solche künstlerischer Haltung, werden Gipsformen benutzt, die, wenn sie mit Eisen gut armirt sind, auch den Gebrauch von Stampfen oder doch das derbe Einschlagen bei der Füllung der Form gestatten.

Gute Mischungen von Cementwaaren enthalten auf 1 Th. Cement 3 bis 6 Th. Kiessand (mit Sand untermischten Kies). Die Masse wird erdfeucht in die Form gebracht und gestampft. Wenn glatte Oberfläche oder besonders scharfe Form nothwendig ist, wird ein sogen. „Vorguss“ angewendet: flüssiger Mörtel aus 1 Th. Cement und 1—1½ Theilen feinem aber scharfen Sand, welcher nach aussen gebracht wird. Das überschüssige Wasser aus dem Vorguss wird von der nur wenig feuchten Masse des Kerns aufgesaugt, so dass ein Ausgleich des Wassergehalts in den verschiedenen Theilen der Masse stattfindet. Auch die folgende anderweite Methode bewährt sich: Eine Mischung von 1 Th. Cement, 1—2 Th. reinem Quarzsand, erdfeucht angemacht, wird in einer Schicht von etwa 3 cm Dicke zunächst in eine Leimform gebracht und mit Hand oder kleinen Holzstempeln fest angedrückt. Alsdann folgt Ausfüllen der Form mit plastisch angemachtem Beton (1 : 6), dessen Feuchtigkeit theilweise von der umgebenden Schicht aufgesaugt wird.

Durch Behandlung mit stark verdünnter Salzsäure und Abwaschen mit Wasser erhalten die Gegenstände das körnige, vollständig sandsteinähnliche Aussehen.

Je nach Temperatur und Luftfeuchtigkeit müssen die Gegenstände 24—48 Stunden in der Form belassen und alsdann 4—8 Wochen lang vor Sonne und Wind geschützt aufbewahrt bleiben, wobei sie häufig — mindestens ein mal täglich anzunässen sind. Die Austrocknung ist der gefährlichste Feind von frisch hergestellten Cementwaaren. Frost ist bei 14 Tage alten Stücken nicht mehr zu fürchten. Dem entspricht es, dass Waaren, die im Herbst und Winter hergestellt werden, im allgemeinen höhere Festigkeit erreichen, als die im Sommer hergestellten. —

Bei dem sog. „Kunstsandstein“ wird meist ein kleiner Antheil von Luftkalk mit verwendet, um die Masse bei dem hohen Sandgehalt besser verarbeitungsfähig zu machen. Die Mischung besteht häufig aus 1 Th. Cement, ½ Th. Luftkalk und 5—8 Th. Sand. —

Röhren und Kanäle aus Beton für druckfreie Wasserleitungen finden bei Stadt-Kanalisationen, sowie zu Gravitations- und Entleerungsleitungen der Wasserwerke immer ausgedehnter Anwendung. Ein Vorwurf, den man denselben früher gemacht, dass nämlich der Cement selbst von schwachen Säuren, wie sie in städtische Entwässerungsleitungen gelangen, angegriffen werde, hat sich durch die Erfahrung als unbegründet herausgestellt. In der Form von losem Pulver ist Cement allerdings durch

schwache Säuren angreifbar; zu Mörtel verarbeitet und der Wirkung saurer Wasser, wie städtische Kanäle sie gewöhnlich führen, ausgesetzt, findet kein Angriff statt. Der Grund dieser Erscheinung ist in der Gegenwart von organischen Stoffen in jenen Wassern zu sehen. Es ist auch erwiesen, dass Cementbehälter mit Inhalt von hochgradigen Säuren, sofern diese nicht rein sind, sich gut halten, z. B. Behälter für Zuckerfabriken, Schwefelsäure-, Alaun-, Superphosphat-, Papier-Fabriken, für Harn usw.[1])

Bei der grösseren Wandstärke, welche Cementrohre im Vergleich zu glasirten Thonrohren (namentlich den scharf gebrannten sogen. Steinzeugrohren) besitzen, sind sie widerstandsfähiger gegen Stosswirkungen als jene und werden daher bei wenig tiefer Lage unter Strassenoberfläche weniger leicht als jene zerstört. Ausserdem ist in beweglichem Grunde bei der flachen Bodenform die Lage der Cementrohre mehr gesichert, als die der Thonrohre, die in solchem Grunde, bei Anwendung starrer Dichtungen der Muffen, auch leicht brechen. Von Wichtigkeit ist ferner die grosse Genauigkeit der Form bei Cementrohren, welche den gebrannten Rohren gewöhnlich fehlt; erstere können daher weniger leicht als diese zu Schlammablagerungen Anlass geben, die gewöhnlich an Vorsprüngen oder Einkerbungen der gebrannten Rohre ihren Anfang nehmen. Gute Eignung besitzen Cementrohre daher für die Ableitung von Küchenwassern.

In besonderen Fällen, wo in der Baugrube selbst Sand oder Kies angetroffen wird, wird man Betonröhren oder Kanäle von einiger Weite an Ort und Stelle formen, indem man leicht bewegliche Einrüstungsvorrichtungen herstellt, mit denen man den Fortschritten der Baugrubenlänge unmittelbar folgt. Bei solcher Herstellungsweise stellen sich die Kosten des Betonbaues aussergewöhnlich niedrig; auf der anderen Seite sind mit derselben aber auch gewisse Gefahren für die Güte der Leistung verbunden. Theils gehen solche schon aus der Enge der Baugrube hervor, theils auch daraus, dass dem fertigen Theil des Werks nicht immer die zur Erlangung der nothwendigen Festigkeit erforderliche Zeit gelassen wird. In dem Aushalten des Transports der in regelmässiger Fabrikation erzeugten Stücke liegt immer schon eine Gewähr für eine gewisse minimale Güte der Stücke. Die von den Cementwaaren-Fabriken bezogenen Stücke werden aus den angeführten und noch anderen Gründen den „selbstgefertigten“ vorzuziehen sein.

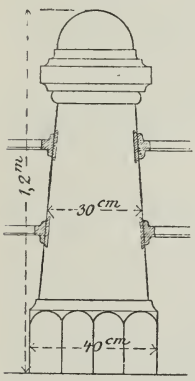
Vielleicht das bedeutendste Beispiel der Anwendung von Betonkanälen bietet Buenos Ayres, wo brauchbare Ziegel gar nicht und Natursteine erst in einer Entfernung von 300 km gefunden werden, wo deshalb Betonbau für Kanalanlagen als die fast allein verwendungsfähige Bauweise erschien. Dort sind in den siebziger Jahren (durch englische Techniker) 1750 m grosse tunnelförmige Beton-Kanäle mit Weiten von 3,0—3,5 m, 18000 m Beton-Kanäle mit Weiten zwischen 0,9 und 2,1 m und endlich 30 000 m engere Kanäle mit Weiten von 0,75—2,1 m erbaut worden. Die grossen Tunnel wurden mit der Wandstärke von 35 cm hergestellt und erhielten zu dem Zweck, um die Wölbung in Spannung zu versetzen, im Scheitel ein paar Reihen von Ziegelsteinen eingefügt. Die grösseren Kanäle wurden in der Baugrube geformt, wobei man 1,80 m lange Formen benutzte, welche auf die um so viel vorgerückte Kanalsohle gestellt wurden. Die Ausrüstung geschah nach 48 Stunden; in einzelnen Fällen wurden die Scheitel noch etwas länger mit Drempeln unterstützt. Die kleinen Kanäle formte man in Längen von 0,9—1,2 m, die Masse ward bei diesen vom Stirnende aus eingebracht

[1]) Näheres vergl. u. a. in Deutsche Bauzeitung 1878, 1879, 1882 und 1883.

und gestampft. Um Rissebildungen unter der Einwirkung der dörrenden Sonnenstrahlen zu vermeiden, legte man an passenden Stellen dünne Brettchen ein, die später herausgezogen wurden, um die so gebildete Fuge mit Mörtel zu schliessen. Das Mittel hat sich durchaus bewährt. Der Beton wurde aus 1 Theil Cement und 8—12 Theilen Kies hergestellt, der Mörtel besserer Art aus 1 Theil Cement und 6 Theilen Sand.

Gelegenheit zu zweckmässigen Anwendungen von Cementfabrikaten an Stelle von Holz oder Stein sind zahlreich vorhanden, ungeachtet in den letzten Jahren die Anwendung von Cementstücken sich sehr ausgebreitet hat. Wenn man von Gesimsstücken, Fenster- und Thüreinfassungen, Zargen, Verdachungen und ähnlichen Gegenständen des Hochbaues absieht, so bieten sich vielfache Gelegenheiten z. B. noch bei Strassenbrücken, bei Einfriedigungen usw. Z. B. ist Beton vorzüglich geeignet zu Saumschwellen und Rinnsteinen, wie zu Geländern an steinernen Brücken, zu Pfosten und Pfählen für Schutz- und Riegelwerke auf hohen Strassendämmen oder an Wassergräben, zu Bekrönungen gemauerter Pfeiler, zu Abdeckungen von Einfriedigungs-Mauern und Uferdeckwerken. Saumschwellen mit dem Querschnitt von 35 cm Höhe, 18 cm Breite unten und 15 cm oben sind vom Stadtbauamt Ulm in grossem Umfange zur Verwendung gebracht und haben sich bewährt. Sie werden mit der Mischung von 1 Cement und 4 Kiessand hergestellt und kosten in Ulm 2,30 M. 1 m. Abb. 84 giebt als Beispiel eine sehr zweckmässige Pfostenform zu einem schützenden Riegelwerk, wie es ähnlich auf der hohen Anrampung an der neuen Langen Brücke über die Havel bei Potsdam angewendet worden ist. Im Vergleich zu den früher gebräuchlichen Pfosten aus Stein oder Eisen werden, bei gleicher Zweckerfüllung, die Kosten des Cementpfostens sich sehr viel niedriger stellen. Dasselbe gilt von Ballustern in Attiken und Geländern, welche vielfach noch (mit hohen Kosten) aus Stein gedreht, gdbrannt, oder aus Zink getrieben werden.

Abb. 84.



Die Reihe solcher Gegenstände liesse sich noch erheblich vermehren; es muss jedoch genügen, zum Schluss noch auf eine Neuheit aus Cement hinzuweisen, welche in den sogen. Cementdielen von Otto Böklen in Lauffen a. Neckar vorliegt. Dies sind Stücke, welche sowohl eben als bogenförmig hergestellt werden, auf der Unterseite glatt sind, auf der Oberseite Rippen haben, die nach jeder beliebigen Anordnung, z. B. auch so gestellt werden, dass eine bienenzellenartige Musterung entsteht. Die Cementdielen sollen zu geraden und gewölbten Decken, zu Wänden — indem die zwei gerippten Seiten einander zugekehrt werden — dienen; einen besonderen Vorzug sollen dieselben darin besitzen, dass sie schneid- und nagelungsfähig sind.

i. Quellendichtung mit Cement.

Zur Quellendichtung kann Cement in verschiedener Weise verwendet werden.

Sind die Risse in dem Boden eines Bassins nicht zu erkennen oder in ihrem Verlaufe nicht verfolgbar, so hilft zuweilen das Aufstreuen trockenen Cementpulvers; es wird aber zwecklos sein, Cementpulver ins Wasser zu werfen, in der Absicht, mit diesem Pulver die Undichtigkeiten zuzuschlämmen, da der Cement „ersäuft“.

Bei sehr geringem Wasserzufluss, nicht gar zu kleiner Weite des

Risses oder der Oeffnung und geringer Geschwindigkeit kommt man öfter schon mit dem blossen Einstreuen von trockenem Cementpulver zum Ziel; doch wird in solchen Fällen das Auflegen eines mehr oder minder grossen Klosses von sehr rasch bindendem Cement, meist von besserer Wirkung sein.

Um undichte Stellen in einer Betonschüttung zu dichten, kann man so verfahren, dass man über derselben enge Kanäle (aus Ziegeln) aufmauert, welche man, wenn mehrere vorhanden sind, in einen gemeinsamen Sammelkanal einmünden lässt, der zu einer grösseren Sammelstelle (Pumpensumpf usw.) führt. Wenn dann die Uebermauerung des Betonbettes fertig gestellt ist, füllt man die Kanäle vom Ende aus mit trocken angemachten Mörtel oder mit Beton. Diese Füllung ist mit Schwierigkeiten verknüpft, wenn die Kanäle einige Länge haben, oder wenn der Wasserzudrang einigermaassen gross ist, da dann Ausspülung des Mörtels stattfindet. Um letzterer Schwierigkeit zu begegnen, kann man im Zugange in den Kanal ein Ventil legen, so dass der Kanal sich mit Wasser anfüllt, welches unter Druck kommt. Ist dann die Uebermauerung fertig gestellt, so wird man das Ventil rasch öffnen und nun in den — momentan trocken gelegten — Kanal den in Bereitschaft gehaltenen Mörtel oder Beton rasch einbringen, ein Verfahren, welches oft von Erfolg ist.

Um Bruchstellen in einem Betonbett oder in Mauerwerk zu dichten, ist es nothwendig, die Einführung von flüssigem Mörtel in den Riss dadurch zu ermöglichen, dass man den Gegendruck des Wassers aufhebt. Am einfachsten geschieht dies durch Aufsetzen einer am Fusse abgedichteten eisernen Röhre oder Aufmauerung eines Schachtes dieser Höhe, in welcher der Wasserspiegel sich entsprechend hoch einstellt, ohne dass nachher Bewegung stattfindet. In diese Röhre wird schwach angefeuchtetes Cementpulver nach unten gebracht, welches, wenn es in solcher Menge zugeführt wird, dass der Zusammenhang zwischen den Körnern nicht ganz aufgehoben wird, an die bestimmte Stelle gelangen kann, ohne dass Ersäufen stattfindet. Dieses Mittel ist schon 1858 in England und 1880 in Havre bei der Dichtung von Trockendockböden mit günstigem Erfolg angewendet worden.

Kinipple hat dasselbe im Hafen von Greenock bei Dichtung eines stark beschädigten Trockendock-Bodens benutzt, indem er durch die ganze Rodendicke in 0,3—0,6 m Abstand Bohrlöcher treiben liess. Es wurden in dieselben die eisernen Standrohre gestellt, von deren unterer Endigung aus der flüssige Cement in die Risse eindrang, nach der betr. Angabe in einem Falle bis auf 5,5 m Entfernung von dem Fusse des Rohres. Der Wasserzudrang war nach Vollendung der Arbeit auf nur 2,5 pCt. des ursprünglichen herabgemindert. Da das Eindringen des Mörtels bei der Zuführung durch Standrohre auf dem Ueberschusse des Gewichts beruht, den der Cement im Vergleich zu Wasser besitzt, würde es nur schädlich sein, dem Cement etwa Sand beizumischen, weil dieser vermöge seiner geringeren Schwere beim Niedersinken trennend auf den Zusammenhang des Mörtels wirken würde.

Bei dem Trockendock der Hamburg-Amerikanischen Packetfahrt-Actien-Gesellschaft zu Hamburg hat man Quellendichtungen wie vor angegeben ausgeführt, unter Benutzung eines Betons von besonderer spezifischen Schwere, welche man herstellte, indem man dem Mörtel feine Eisenabfälle (Feilspähne) zusetzte. Zum besseren Verbinden des Mörtels wurden die Eisenabfälle vorher angerostet, was durch Aufschütten einer schwachen Säure (auch Harn) leicht geschehen kann, aber wohl unnöthig ist.

Eine der interessantesten Quellendichtungen mit Cement ist in den

Jahren 1880/81 in den Kohlenbergwerken von Ossegg ausgeführt worden, wo es die Aufgabe war, eine Wassereinbruchsstelle von oben aus abzudämmen, was durch Einschütten von Beton ausgeführt ist, der durch hinabgetriebene Bohrlöcher in kleinen Trichtern versenkt ward. Bei dieser „nassen Betonirung" war, um für das Gelingen von vorn herein sich eine gewisse Sicherheit zu verschaffen, eine Rechnung über die zulässige Geschwindigkeit der relativen Bewegung der Cementkörner gegen das Wasser in folgender Art angestellt:

Der Stoss bewegten Wassers gegen einen ruhenden Körper ist:

$$P = \mu \frac{v^2}{29} F \gamma,$$

oder für den Mittelwerth:

$$\mu = 1{,}5 \text{ und für } \gamma = 1{,}0$$

$$P = 1{,}5 \frac{v^2}{2 \cdot 9{,}81} F$$

worin v die Wassergeschwindigkeit und F die Grösse der gestossenen Fläche (auf eine Ebene projizirt) bezeichnen.

Diesem Stoss wirkt das (nach Abzug des Auftriebs verbleibende) Gewicht des getroffenen Körpers entgegen, welcher als Kugel, Zylinder oder Würfel gedacht werden kann. Nimmt man den Körper als Kugel vom Halbmesser r an, so ist das Gewicht:

$$G = \frac{4}{3} r^3 \pi s.$$

Daher muss sein:

$$\frac{1{,}5}{2 \cdot 9{,}81} r^2 \pi v^2 = \frac{4}{3} r^3 \pi s \text{ oder: } rs = 0{,}0573\, v^2.$$

Nimmt man:

$$v = 0{,}5 \text{ m und } s = 2000$$

so ergiebt sich der Kleinstdurchmesser, den die Cementkörner haben müssen, um noch bei der — aufwärts gerichteten Geschwindigkeit — des Wassers von 0,5 m zu Boden zu sinken, zu:

$$r = \frac{0{,}0573}{2000} 0{,}5^2 = 0{,}000007 \text{ m} = 0{,}007 \text{ mm} = \frac{1}{140} \text{ mm.}$$

Die Geschwindigkeit von 0,5 m dürfte auch ein mit Beton gefüllter Behälter, zu dem das Wasser von unten aus Zutritt hat, nicht überschreiten wenn das Wasser sich im Stillstand befände und die Korngrösse des Cements nicht grösser als $\frac{1}{140}$ wäre, weil sonst Bewegung der Körner und Entmischung des Betons[1]) eintreten würde.

Indem man den rechnungsmässig gewonnenen Resultaten in Ossegg Folge gab, ist die dortige Ausführung geglückt. Der sekundliche Wasserzufluss betrug 200 l.[2])

Einige Aehnlichkeit mit der Quellendichtung hat das Verfahren gemauerte Behälter, welche vor Bewegung nicht vollständig zu schützen sind, wie z. B. Schwimmbassins in geschlossenen Badeanstalten, vor Sickerverlusten zu bewahren, oder auch hölzerne Balkenlagen, auf denen Badewannen etwas versenkt aufgestellt sind, vor dem Zutritt von verspritztem oder überlaufendem Wasser zu schützen. In solchen Fällen leisten isolirende Zwischenlagen aus Dachpappe oder Holzcement vorzügliche Dienste, weil sie geringe Bewegungen in Folge von Erschütterungen, oder Werfen oder Schwinden der Balkenhölzer in sich zu verarbeiten vermögen, ohne dem

[1]) Vergl. S. 106.
[2]) Näheres s. Zeitschr. d. Oesterreich. Ingen.- u. Architekten-Vereins, Jahrg. 1882.

Wasser den Durchtritt zu gewähren und weil Cementmörtel sich mit Dachpappe sehr gut verbindet.

Gegen die übrigens, sehr sorgfältig mit vollen und gut verstrichenen Fugen auszuführende Mauerung der Behälter, wird man im Innern eine Dachpappenlage bringen, welche möglichst fest anliegen muss und deren oberer Rand gut zu heften oder in eine Fuge einzubiegen ist; die Stösse der Pappe müssen selbstverständlich verwechselt werden. Auf die Pappe ist ein Cementputz, von mindestens 1 cm Stärke, aus Mörtel etwa Th. 1 : 3 aufzutragen, und wenn dieselbe ausreichend erhärtet ist, eine ganz dünne glatte Schicht aus fetterem Mörtel. Sicherer wird man aber gehen, wenn man noch eine zweite Lage Dachpappe auflegt und auf diese einen Cementputz 1 : 1 bringt. Mit zwei Lagen Dachpappe und zwei Schichten Cementputz kann man auch hölzerne Balkenlagen unter Badewannen völlig sicher isoliren.

Die Schwimmbassins im Hohenstaufen-Bade zu Cöln haben einen Boden aus gewölbten Kappen, welche auf der Oberseite mit Beton abgeglichen sind. Darauf folgt eine Lage Asphaltplatten (mit Leinwand - Einlage), welche auch an den Umfangwänden hinaufgeführt ist. Auf der Asphaltplattenlage ist eine 15 cm starke Betonschicht (1 Cement 5 Kiessand) gebracht und auf dieser 25 mm starker Cementputz (1 : 1) hergestellt. —

Gegen vom Grunde aus aufsteigende, sowie von der Seite aus zutretende Feuchtigkeit hat man die Grundmauern (Kellermauern) von Gebäuden früher wohl durch Einlegen einer Schicht von fettem Cementmörtel auf dem Fundamentabsatz, bezw. durch Herstellung eines Cementabputzes auf der Aussenseite isolirt. Dies Mittel wird aber neuerdings nur noch selten angewendet, weil dasselbe meist unbefriedigende Ergebnisse geliefert hat. Es ist indessen sehr wahrscheinlich, dass die letzteren häufig auf mangelhafte Beschaffenheit der Mauermaterialien und sorglose Ausführung zurück kommen werden. Auf mangelhaft gebrannten Ziegeln oder solchen aus geringem oder fehlerhaft zusammen gesetztem Rohmaterial, wie desgleichen auf einer nur mangelhaft gereinigten Mauerfläche ist Cementputz auf die Dauer nicht haltbar. Er muss Lockerungen, welche das Gefüge des Steins erleidet, folgen und solche Lockerungen können auch durch Aufnahme von Feuchtigkeit an der anderen frei liegenden Seite der Mauer eintreten; auf unreiner Unterlage haftet Putz überhaupt nicht. Ebenfalls ist Cementmörtel ohne Sandzusatz und solcher mit Zusatz von grobkörnigem Sand zur Herstellung von isolirendem Putz ungeeignet.

Wenn zu den Grundmauern dichte Steine — natürliche oder künstliche — übrigens von guter Beschaffenheit, verwendet werden, wenn der Cementmörtel fett und mit feinem aber scharfem Sand unter Zusatz eines geringen Antheils von Kalk angemacht, wenn der Putz sorgfältig aufgetragen und event. während der nächsten Tage nach seiner Herstellung gut gepflegt (öfter genässt) wird, darf man auf eine günstige Wirkung von Cement-Isolier-Schichten und Isolierputz sich Rechnung machen, so dass der Rath erlaubt ist, dass das früher beliebte Verfahren von neuem aufgenommen werden möchte. Es empfiehlt sich aber, nicht nur eine, sondern mindestens zwei Isolirschichten einzulegen, und die Steine der betr. Mauerschichten besonders auszuwählen.

Grössere Schwierigkeiten setzen sich einem günstigen Erfolge entgegen, wenn eine bereits durchnässte Mauer unter Benutzung von Cement wieder trocken gelegt werden soll. Es sind mehrere Fälle, die hier eintreffen können und zwar:

a) Es soll auf die Aussenseite der Mauer ein Putz aufgetragen werden, um der ferneren Aufnahme von Wasser Einhalt zu thun. Wenn

das Steinmaterial der Wand gut ist, genügt tiefes Aufkratzen der Fugen sorgfältiges Füllen derselben und Auftragen eines wasserdichten Putzes (s. S. 67); doch ist zum Gelingen grosse Vorsicht in der Wahl und der Behandlungsweise der Materialien nothwendig.

b) Der Putz soll auf die Innenseite der Mauer aufgetragen werden, etwa aus dem Grunde, dass es unthunlich ist, die Aussenseite derselben frei zu legen.

Wenn es sich nicht um den Druck von aussen stehendem Wasser handelt, sondern nur um die Feuchtigkeit, die von den Mauern vermöge Capillarwirkung aufgenommen wird, bieten sich für den Erfolg einige Chancen. Die frei liegende Fläche wird schleimige Absonderung oder auch Anwuchs niederer Pflanzen, Abblätterungen, sowie sonstige Zerstörungen zeigen. Es ist unbedingt nothwendig, zunächst eine durchaus saubere und feste Unterlage für den Putz zu schaffen; es ist dazu Abkehren und selbst Abwaschen mit einer schwachen Salzsäure-Lösung ungenügend, vielmehr muss Abkratzen oder Abschaben, unter Umständen sogar Abstemmen eines Theils der Mauerdicke zu Hülfe genommen werden. Nach in solcher Weise bewirkter Reinigung ist der Putz wie zu a angegeben zu bereiten und aufzutragen.

Bei nur einigem Wasser-Druck von aussen ist der Erfolg des vorangegebenen Verfahrens in Zweifel gestellt. Um einigermaassen sicher zu gehen, muss durch Freilegen der Aussenseite oder auf künstliche Weise der Wasserdruck zeitweilig aufgehoben werden. Wenn dies geschehen, ist wie vor angegeben zu verfahren; der Putz muss aber mindestens einige Tage druckfrei gehalten werden. Sehr erwünscht ist es, dass vor dem Auftragen des Putzes die Mauer einigermaassen getrocknet wird, etwa durch starken Luftzug oder unter Zuhülfenahme künstlicher Trockenvorrichtungen (Oefen oder Kokskörbe).

Ist Entlastung von Wasserdruck unmöglich, so wird man nach sorgfältigster Reinigung der Fläche Trocknung der Mauer wenigstens dem grösseren Theil der Dicke nach durch energisch wirkende künstliche Mittel beschaffen müssen. Alsdann ist der Putz in mehreren schwachen Lagen nach einander aufzutragen, und zwar nicht gleichzeitig auf der ganzen Fläche, sondern in kleineren Flächentheilen, die man jede für sich fertig stellt. Beim Vorgehen in dieser Weise bleibt dem Wasser bis zuletzt ein Weg (event. nach vorn) offen, wodurch eine gewisse Entlastung des fertig gestellten Theils vom Abputz geschaffen wird.

Das letzte bisher frei gebliebene — nach und nach auf geringe Grösse gebrachte — Stück der Wand muss Abputz erhalten, nachdem man zuvor in die Mauer ein Loch gebohrt hat, das dem Wasser zum Ausweg entweder für immer belassen bleibt, oder welches man, wenn eine geordnete Ableitung unthunlich ist, mit einem Stöpsel schliesst. Die geordnete Ableitung durch eine oder mehrere Oeffnungen ist aber jedenfalls vorzuziehen.

Wenn der Wasserdruck 0,50 m und darüber erreicht, verfährt man am besten so, dass man nach Reinigen und Austrocknen der Mauern auf die Fläche (zur Abgleichung) einen schwachen Ueberzug aus fettem Cementmörtel oder auch Gudron bringt. Es werden alsdann hart und gut gebrannte dünne Platten oder auch senkrechte Streifen von starkem Rohglas so mit Cementmörtel gegen die Mauern gesetzt, dass auf einen solchen Streifen ein ebenso breiter freier Streifen folgt. Alsdann belegt man mittelst Cementmörtel die ganze Fläche dicht mit wagrechten Streifen von Platten oder dickem Rohglas und trägt schliesslich eine Putzschicht auf. Die zwischen den senkrechten Platten belassenen engen Züge werden am oberen

und unteren Ende mit dem Raum in Verbindung gesetzt, so dass sie für die Aussenluft zugänglich sind. Dies Mittel ist ein öfter angewandtes und erprobtes. —

Zur Sicherung von Gewölben im Freien gegen das Durchdringen von Wasser sind vielfache Mittel in Anwendung, darunter auch Abdeckung des Gewölbes mit einer oder zwei Flachschichten und Auftragen eines Cementputzes. Bei der besonderen Wichtigkeit, welche der Sicherung der Gewölbe unter Eisenbahndämmen gegen das Durchdringen von Feuchtigkeit zukommt, hat der, die sämmtlichen deutschen Eisenbahnen nicht nur, sondern auch die österreichisch-ungarischen und eine grosse Zahl anderer Eisenbahnen des europäischen Continents umfassende Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen vor etwa 10 Jahren diese Frage zum Gegenstande einer Enquête gemacht, indem er bei sämmtlichen Mitgliedern Umfrage hielt.

Die technische Kommission des Vereins kam nach Sichtung der Referate der Vereinsbahnen über die Frage: Welche Art der Wasserabführung zur Trockenhaltung der Gewölbe und welcher Ueberzug der letzteren ist als besonders zweckmässig zu empfehlen? u. a. zu nachstehender Schlussfolgerung:

„Als Mittel zur Trockenhaltung der Gewölbe wurde in früherer Zeit und wird bei einer Anzahl Bahnen noch jetzt vorzugsweise ein Ueberzug von Cement auf einer Betonschicht oder auf einer doppelten Lage Ziegel mit Cementmörtel angewendet.

Von einer Anzahl Bahnen, welche mit dieser Art von Abdeckung gute Erfahrungen gemacht haben, wird empfohlen, diesen Ueberzug noch mit einer Lage vor gestampftem Lehm zu bedecken.

Die grosse Mehrzahl der Bahnen hat mit dieser Abdeckungsart ungünstige Erfahrungen gemacht und ist zu einer Abdeckung mit Asphaltplatten oder Asphaltfilz-Platten übergegangen, welche bei guter Ausführung sich zu bewähren scheinen.[1])“

Man wird für das nicht günstig lautende Urtheil verschiedene Ursachen vermuthen können, häufig die Wechsel der Belastung und die Erschütterungen, denen unter der Last der darüber fortrollenden Züge die Eisenbahn-Brücken unterworfen sind; ebenso oft wird man aber auch wohl an mangelhafte Ausführung, und zuweilen an mangelhafte Materialien denken dürfen. Ob Cement-Mörtel den erstgenannten Beanspruchungen dann Stand zu halten vermag, wenn es sich um kleine Ueberschüttungen mit Kies handelt, wenn also die Stösse der Lokomotiven und Wagen unvermittelt von den Gewölben aufgenommen werden müssen, kann fraglich erscheinen; in solchen Fällen wird die Elastizität des Cement-Mörtels sich wohl oft als unzulänglich erweisen. Anders jedoch bei Gewölben unter hohen Dämmen überhaupt dann, wenn zwischen Schienenunterkante und Gewölberücken eine Erdschüttung von vielleicht 1 m oder mehr verbleibt, welche ausreichend ist um die Stösse und die todte Last der Züge in sich zu verarbeiten. In solchen Fällen wird man bei sorgfältiger Ausführung, wie sie im vorstehenden und an andern Stellen des Buchs mehrfach zur Besprechung gelangt ist, an einem günstigen Erfolge der Cementabdeckungen von Gewölben keine Zweifel zu hegen brauchen.

---

[1]) Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens in Supplementband 9. 1884.

XI. Ausführungen in Betonbau.

Beispiele.

Es soll unter dieser Ueberschrift insbesondere eine Reihe von Beispielen, nach Gattungen geordnet, mitgetheilt werden, wobei Einzelheiten, welche in den vorhergehenden Abschnitten unberührt blieben, nachzutragen sind.

In den Abschnitten II. und VII., wie an noch anderen Stellen des Buches sind Angaben über Festigkeit von Cement-Mörtel und -Beton gemacht worden. So weit die betr. Zahlen bei Probungen grosser Stücke, wie sie gleich oder ähnlich in der Baupraxis vorkommen, gewonnen sind, können sie vom Konstrukteur ohne weiteres benutzt werden. Anders mit solchen Festigkeitszahlen, die mit den den Normen entsprechenden kleinen Probestücken, bei der Prüfung erzielt worden sind. Solche Zahlen unmittelbar auf eigentliche Konstruktionen übertragen zu wollen, würde unzulässig sein, weil die Unterschiede, welche zwischen den Beanspruchungen des Materials in dem Probestück und in der fertigen Konstruktion bestehen, gross sind. Das erstere ist eintheilig, während die letztere sich aus einer Anzahl von Theilen zusammensetzt; das Probestück hate vielleicht Plattenform, während die Konstruktion sich aus Theilen mehr würfelförmiger Art zusammensetzt, oder auch umgekehrt oder auch stab- oder bogenförmig ist.

Durch Einführung eines sogen. Sicherheitskoeffizienten sucht man sowohl diese Verschiedenheiten, als die unvermeidbaren Unsicherheiten der Rechnung, als noch sonstige Unbestimmtheiten auszugleichen. Nicht immer jedoch findet vollständige Klarheit darüber statt, was alles der Sicherheitskoeffizient leisten soll, so dass auch bei vorsichtiger Wahl desselben Zweifel bestehen bleiben, ob derselbe ausreicht oder nicht.

Wenn bei der statischen Berechnung einer Konstruktion alle Umstände, welche auf die Anstrengung derselben Einfluss nehmen können, wie z. B. plötzlicher Belastungswechsel, Konzentration von Lasten in einem Punkt, Einseitigkeit der Belastung, Erschütterungen, Wandelbarkeit des Untergrundes, Feuchtigkeits- und Temperaturschwankungen, ungünstige Form der Konstruktion, unvermeidliche Ungenauigkeiten der Ausführung, Elastizität des Materials usw., sorgfältig in Betracht gezogen sind, wird ein niedriger Sicherheitskoeffizient ausreichend sein, während bei einer „überschläglichen“ Rechnung, welche nur einzelne der oben erwähnten Faktoren, vielleicht aber auch alle „in ihrer Gesammtheit“ berücksichtigt, es nothwendig ist, einen hohen Sicherheitskoeffizienten einzuführen.

Allgemein spricht man von 10, 5 oder $n$facher Sicherheit eines Bauwerks, wenn der Berechnung desselben $^1/_{10}$, $^1/_5$, $^1/_n$ der zahlenmässig bekannten Festigkeit desselben zu Grunde gelegt ward. Bei überschläglichen Rechnungen soll man nicht unter die 10fache Sicherheit herab

gehen; bei sorgfältig durchgeführten kann man hierunter, je nach dem Grade der Sorgfalt, zurückbleiben; die Rechnung mit einer nur 5fachen Sicherheit wird aber in vielen Fällen bedenklich sein. Uebrigens spielen dabei auch die Bedeutung und der Umfang des Gegenstandes eine Rolle. Ist erstere nach Art und Lage des Bauwerks gross so wird man für einen hohen Sicherheitsgrad Sorge tragen müssen; ist der Umfang des Werks gross, seine innere Bedeutung dagegen nur gering, so erscheint es im Interesse der Kostenbeschränkung gerechtfertigt, sich mit einem verminderten Sicherheitsgrade zu begnügen.

Im Vorstehenden handelt es sich nur um den von der bekannten Festigkeit des Materials in Ansatz zu bringenden aliquoten Theil, als dessen Grenzwerthe man etwa $^1/_{10}$ bezw. $^1/_5$ annehmen kann, wenn es auch in Einzelfällen geboten, bezw. erlaubt oder berechtigt sein kann, über diese Grenze sowohl nach oben als nach unten hin hinaus zu gehen. —

Meist wird es sich um Beanspruchung der Betonkonstruktion auf Druckfestigkeit handeln. Die Druckfestigkeit wird normengemäss an Würfeln von 5 cm Seitenlänge ermittelt. Die bei Würfeln dieser Grösse gefundenen Zahlen unmittelbar auf Würfel von grösserer Kantenlänge zu übertragen, ist nicht zulässig, weil kleinere Würfel aus Mörtel, schon wegen der besseren Bearbeitung, eine höhere Festigkeit ergeben, als grössere, weniger sorgfältig gearbeitete.

Ueber die Druckfestigkeit von grösseren Würfeln, welche aus Ziegelsteinen bezw. Bruchsteinen unter Verwendung von Cementmörtel hergestellt waren, liegen einige Versuche von R. Neumann[1]) und von Professor Dr. Böhme[2]) vor.

Ersterer fand, dass einzelne Ziegel 33 bis 50 pCt. höhere Druckfestigkeiten aufweisen, als die aus denselben unter Benutzung von Cementmörtel 1 : 2 hergestellten Würfel.

Dr. Böhme führte besondere Versuche auf Veranlassung der Direktion der K. Berliner Stadteisenbahn aus und fand für Würfel aus Ziegelmauerwerk bei Mörtel aus:

1	Kalk,	—	2	Sand	die	Festigkeit	=	44	pCt.	der	Ziegelfestigkeit.
7	„	1	Cement,	16	„	„	=	48	„	„	„
—		1	„	6	„	„	=	55	„	„	„
—		1	„	3	„	„	=	63	„	„	„

Es kann zweifelhaft sein, ob es geboten ist, die hier gefundene niedrige Zahl auch bei Beton oder Mauerwerk aus Bruchstein zu Grunde zu legen, da man grosse Unterschiede nicht übersehen darf, welche in den Form-Verschiedenheiten von Ziegeln, plattenförmigen Bruchsteinen, Schotterstücken und Kieskörnern ihre Ursache haben. Doch mahnen diese Zahlen zur Vorsicht und dürfen nicht bei Seite gesetzt werden, so lange sie nicht durch anderweite, speziell bei Beton ermittelte, als unzutreffend nachgewiesen sind. Der oft beobachteten Erscheinung, dass beim Zerschlagen von Mauerwerk die Steine leichter zersprengt werden, als der Mörtel in den Fugen, kann eine beweisende Kraft für die grössere Festigkeit des Mörtels nicht beigelegt werden, weil es sich in solchen Fällen in der Regel um Zerstörungen unter der Wirkung von Stosskräften handelt, bei der die Elastizitätsverhältnisse und die Struktur der Materialien eine erhebliche Rolle spielen und ein anderes Verhalten derselben herbei führen, als wenn es sich um die Zerstörungen unter ruhig wirkendem Druck handelt.

Nach den vorstehenden Darlegungen wird man in Fällen, wo Vorsicht

[1]) Deutsche Bztg. 1867.
[2]) Zeitschr. f. Bauw. 1880.

nöthig ist, am besten so verfahren, dass man von den bei der Normenprüfung ermittelten Festigkeitszahlen einen gewissen, der Mörtelbeschaffenheit entsprechenden Prozentsatz in Abzug bringt und von dieser reduzirten Festigkeitszahl einen angemessenen Theil als zulässig annimmt. Wie hoch derselbe anzusetzen, d. h. ein wie hoher Sicherheitsgrad zu verlangen ist, muss sich insbesondere nach der Sorgfalt bei der theoretischen Behandlung des Projekts, bezw. nach sonstigen, im Einzelfalle zur Geltung zu bringenden Rücksichten richten, welche nicht Gegenstand allgemeiner Betrachtungen sein können und sich auch nicht in unwandelbare Regeln einkleiden lassen.

Die Frage des Umfangs und der Zweckmässigkeit der Verwendung des Betons insbesondere bei Hochbauten ist bisher zwei mal Gegenstand der Erörterung im Verbande deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine gewesen. Zuerst im Jahre 1874, wo der Gegenstand indessen nicht ganz die seiner Bedeutung entsprechende Behandlung fand, indem er, etwas kurz, mit dem vom Berichterstatter aus dem Inhalt der Verhandlungen gezogenen Resultat abgethan ward, „dass Cementbeton-Bau nur für solche Hochbau-Anlagen sich empfehle, die keinen Anspruch auf ästhetische Behandlung machten, sondern lediglich dem Bedürfniss Genüge zu leisten bestimmt seien.“

Zum zweiten Male ward die Frage in den Jahren 1880 und 1881 aufgenommen, und diesmal unter Heranziehung einiger anderen Verwendungsweisen ausser derjenigen im Hochbau. Der Verband forschte in den Bezirken der Einzel-Vereine nach bestehenden Betonbauten, nach ihrer Ausführungsweise, Kosten, Bewährung usw. und es ist das auf solche Weise zusammen gebrachte statistische Material von dem Oberbaurath v. Schlierholz-Stuttgart und Bauinspektor Schwering-Hannover, in systematischer Weise bearbeitet, im Jahrgang 1884 der Zeitschrift für Baukunde der Oeffentlichkeit übergeben worden. Es wurden dort 17 Wohngebäude, 2 Stall- und Werkstattgebäude und einige Bassins als in Beton ausgeführte Bauten speziell verzeichnet und wurde daneben summarisch auf die Anwendungen des Betons zu gewölbten Decken und Estrichen, zu Brücken, Kanälen, Röhren und Kunststeinen eingegangen.

Das Endergebniss der angestellten Ermittelungen geht dahin, dass Cementbeton für Wohnhausbauten zwar in einer Anzahl von Fällen sich als eine brauchbare Bauweise erwiesen habe, bei welcher unter günstigen örtlichen Preisverhältnissen nicht unerhebliche Ersparungen erzielbar seien, dass jedoch die bisherigen (beschränkten) Erfahrungen noch keine uneingeschränkte Empfehlung des Betons zum Wohnhausbau rechtfertigen könnten. Auf eine umfangreichere Verwendung des Betons zum Wohnhausbau sei nur dann zu hoffen, wenn nach den bestehenden Preisverhältnissen Betonbauten sich erheblich billiger als Ausführungen in gewöhnlichem Mauerwerk stellten. Bei der Sammlung weiterer Erfahrungen sei aber nicht allein die Festigkeit der Mauern zu berücksichtigen, sondern auch ihre Wasserdichtigkeit, sowie ihre Wirksamkeit gegenüber äusseren Temperatur-Einflüssen. Zu letzterer Mahnung sahen die Verfasser des Berichts sich durch mehrere ungünstig lautende Nachrichten über die Kälte der Wohnhäuser aus Beton veranlasst.

Ob Cementbeton in stärkerem Maasse wärmeleitend ist als Mauerwerk, dürfte noch nicht erwiesen sein; immerhin will die Thatsache beachtet sein, dass Cement durch sehr hohe Hitzegrade nicht angegriffen wird; es ist daraus vielleicht zu schliessen, dass derselbe ein hohes Wärme-Leitungs-Vermögen besitzt. Da indessen auch noch andere Ursachen

im Spiele sein können, erscheint es erwünscht, dass der Klärung dieser Frage durch besondere Versuche oder Beobachtungen gelegentlich näher getreten wird.

Unbedingt günstig sprachen die Berichterstatter von 1881 sich über die Verwendung des Betons zu Röhren, Kanälen, Fussböden, Decken, Treppen-Anlagen und Gewölbe aus. Es seien damit gute Resultate erzielt und es erscheine die Annahme gerechtfertigt, dass wegen der vielfach damit erreichbaren Ersparungen der Beton sich noch ein weiteres Gebiet für derartige Verwendungen erobern werde.

Der Bericht schweigt über die Gebrauchsfähigkeit und die Aussichten für Kunststein und schmückende Bautheile aus Beton, obwohl auf die Herstellungsweise desselben in Kürze eingegangen wird; es muss demnach angenommen werden, dass die Verfasser dem Kunststein keine besondere Zukunft zugetraut haben.

In dem 11jährigen Zeitraum, welcher seit der Entstehung jenes Berichtes verflossen ist, hat sich das Bild ähnlich entwickelt, wie damals vorausgesagt ward, doch im allgemeinen viel günstiger im Sinne der Verwendung von Beton. Zwar ist die Aussicht, dem Beton für den Bau von ganzen Wohnhäusern und überhaupt ganzen Gebäuden weiteren Eingang zu verschaffen, nach wie vor gering; dagegen hat die Verwendung desselben zu Einzelbestandtheilen des Wohnhauses, wie Quadern, Säulen, Gesimsen, Ballustern, Einfassungen, Sohlbänken, Fliesen, Estrichen insbesondere zu figürlichen Gegenständen usw. bis heute einen grossen Umfang angenommen und verspricht, seitdem das früher bestandene Vorurtheil der Künstler gegen den Kunststein einer anderen Auffassung gewichen ist, eine immer weiter gehende Ausbreitung (vergl. S. 72). Dasselbe gilt für Beton als Material zu Decken und Treppen, zu Röhren und Kanälen. Wesentlich zugenommen hat die Verwendung des Betons zum Bau gewölbter Brücken, und ganz neu erschlossen haben sich demselben die Gebiete der Anlagen für Gas- und Wasserversorgungen der Städte, wie mehrere gewerblichen Betriebe, in denen Behälter und Gefässe für Flüssigkeiten mit nicht zu hohem Säuregehalt gebraucht werden. Die Zahl der in Betonbau hergestellten Wasserreservoire, Gasbehälter - Bassins, Thon-Zisternen und anderer Behälter ist schon heute eine sehr grosse und nimmt von Tag zu Tag zu. Desgleichen hat der Beton beim städtischen Strassenbau zur Herstellung einer tragfähigen und gleichzeitig wasserdichten Unterlage sich ein grosses, immer mehr wachsendes Anwendungsgebiet erobert.

a. Fundirungen.

Abgesehen von dem altrömischen Gussmauerwerk aus Puzzolanmörtel hat man wohl in der Benutzung des Betons zu Fundirungen unter Wasser die älteste Verwendungsweise von Beton zu erblicken; Betonfundirungen im Trocknen gehören der späteren Zeit an und insbesondere gilt dies von Fundirungen für Hochbauten.

In der Regel muss der Beton zu Fundirungen unter Wasser ausserdem, dass er die nothwendige Tragfähigkeit besitzt, auch einigermassen wasserdicht sein; namentlich gilt dies dann, wenn er ausser dem Zweck: das Bauwerk dauernd zu tragen noch den vorübergehenden erfüllen soll, in der Form eines Fangedammes das ausserhalb der Baugrube höher stehende Wasser abzuhalten.

Die Abb. 85 bis 89 stellen 4 bezügliche Verwendungsweisen dar, Abb. 85 die öfter ausgeführte Fundirungsweise, eine Schleuse, Abb. 86 die Gründung eines Pfeilers (der Coblenzer Rheinbrücke), bei welchem der Fangedamm nur in etwa der halben Dicke aus Beton, in der anderen

Hälfte aus Thonschlag hergestellt ist. Da die zwischen beide Hälften gestellte trennende Holzwand dem Wasser Gelegenheit giebt, sich anzusammeln und verborgene Wege zu suchen, — was bei Eintheiligkeit des Fangedammes vermieden wird, — ist die Zweckmässigkeit der Konstruktion nicht zweifelsfrei.

Abb. 85.

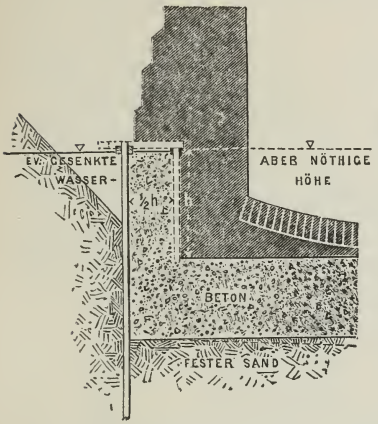


Abb. 86.

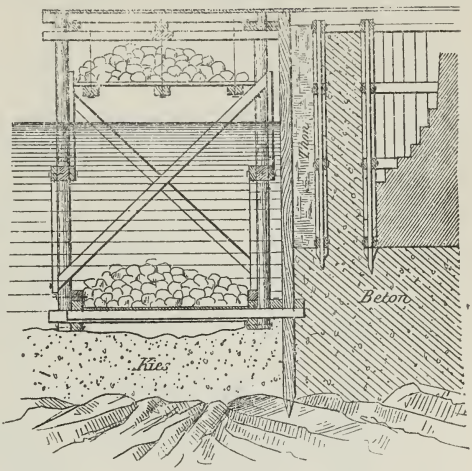
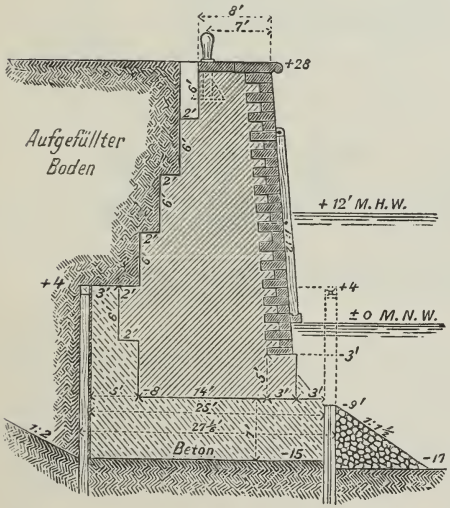


Abb. 87 giebt die Gründungsweise von Kaimauern wieder, wie sie am Kriegshafen an der Jade in grossem Umfange ausgeführt worden ist. Auch hier ist an der einen Seite die Betonschüttung in der Form eines Fangedammes etwa 3,5 m hoch geführt und dieser später als Theil der Mauer bestehen geblieben.

Abb. 87.



Auch Pfeilerfundirungen mit sogen. schwimmenden (provisorischen) Fangedämmen sind als Betonfangedämme ähnlich wie vor benutzt worden, z. B. beim Bau der Eisenbahnbrücke über die Elbe bei Magdeburg.

Abb. 88 u. 89 stellen die technisch nicht uninteressante Fundirungsweise des Maschinenhauses der Dresdener Wasserwerke nahe an dem Ufer des vorbei fliessenden Elbstromes dar. Die Ausführung musste bei einem Wasserstande des Stromes von 2,2 m über der Sohle der Baugrube geschehen; der Baugrund ist grober Kies mit bedeutenden Quellen im Grunde, auch von der Seite des ziemlich steil abfallenden Berghanges her. Um das Auswaschen des Mörtels zu verhüten, wurde die Baugrubensohle durch Ziehen paralleler Gräben in schmale Felder zerlegt, die man mit Hülfe von Pumparbeit trocken hielt. Man breitete auf den Feldern eine Lage von Granitbruchstücken aus, die man zunächst mit Beton

abglich und es wurde alsdann mit Schichten von 15 cm Höhe, welche man stampfte, fortgefahren. Nach Erreichung der Schüttungshöhe von 0,6 m ging man nach und nach zum Dichten der Quellen an der Bergseite im Grunde über, indem man Beton mit rasch bindendem Cement angemacht, einbrachte und stampfte. Erst nachdem die Quellen sämmtlich abgeschnitten waren, wurden die zwischen den Betonstreifen liegen gebliebenen Grabenflächen auf gleiche Höhe mit der vorhandenen Schicht gebracht und folgte nunmehr das Ueberstauen der Betonbettung von der Landseite her für mehrere Tage.

Abb. 88.

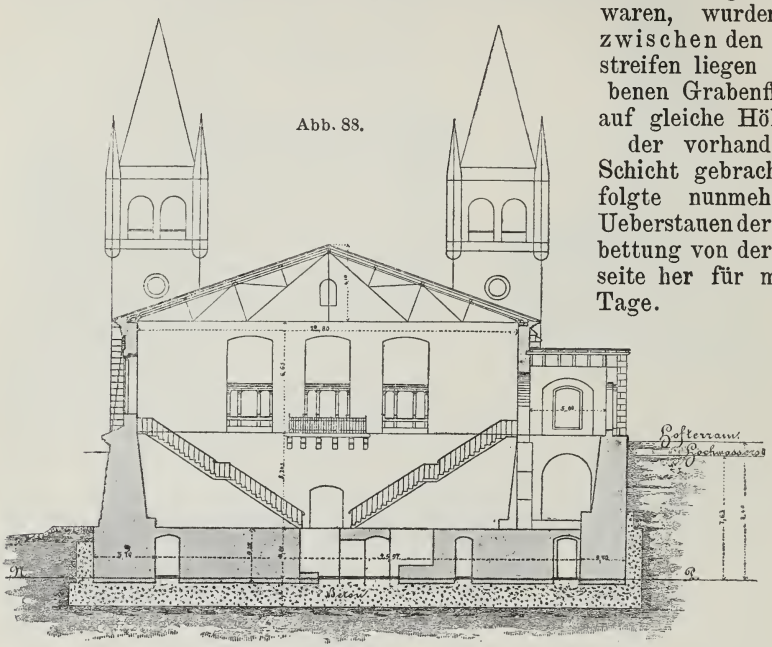
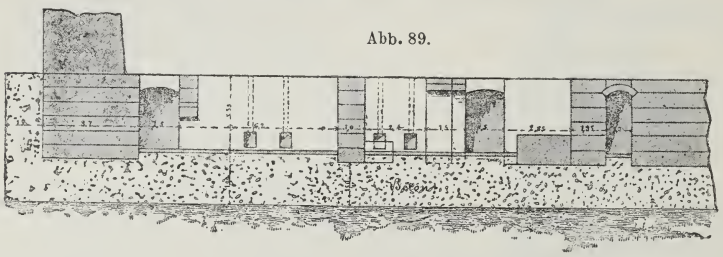


Abb. 89.



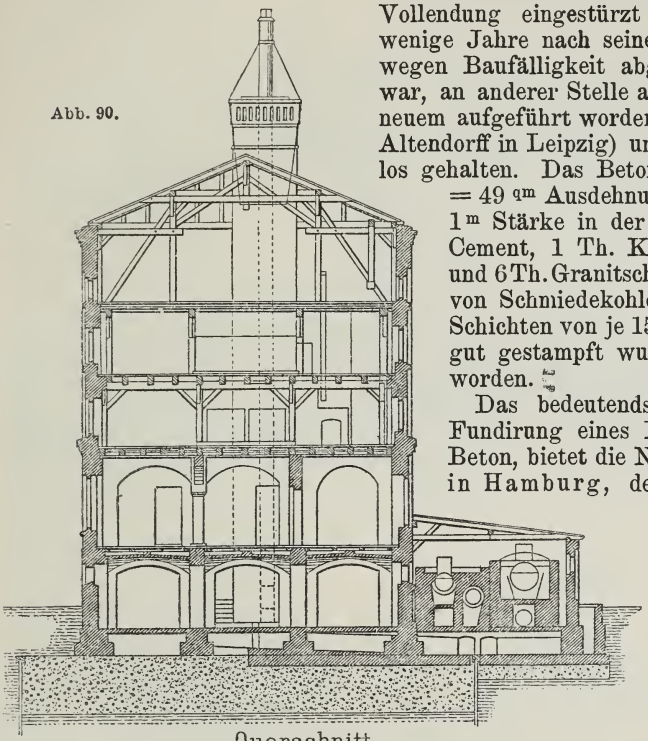
Der Anwendung von durchgehenden (eintheiligen) Fundamenten oder Platten aus Beton für Hochbauten können mehrere Ursachen zu Grunde liegen, wie z. B. Vertheilung der Last auf eine grosse Fläche bei Boden von geringer Tragfähigkeit (bezw. bei relativ hoher Belastung). Es kann ferner die Absicht vorliegen, sich in der Eintheilung des Baues (Stellung der Mauern und Wände) vorläufig volle Freiheit vorzubehalten und es kann endlich die Schüttung einer Betonplatte den Zweck haben Grundwasser und aufsteigende Erdfeuchtigkeit, bezw. auch schädliche Bodenausdünstungen von dem Gebäude abzuhalten. Die Abb. 90, welche die Gründung der Garnison-Waschanstalt zu Danzig zeigt, bietet ein einfaches Beispiel hierher gehöriger Art.

In gleicher Weise ist ein Theil der Hamburger Börse auf einer

1,6 m starken und das Geschäftsgebäude der Deutschen Bank daselbst auf einer 1,5 m starken Betonplatte fundirt worden.

Besonders schwer belastet können Betonplatten bei Thurm-Fundamenten sein. Der 40 m hohe Kirchthurm zu Liebschütz in Sachsen ist, nachdem der erste Bau bald nach seiner Vollendung eingestürzt und der zweite wenige Jahre nach seiner Fertigstellung wegen Baufälligkeit abgetragen worden war, an anderer Stelle auf Betonbett von neuem aufgeführt worden (vom Architekt Altendorff in Leipzig) und hat sich tadellos gehalten. Das Betonbett hat 7 × 7 = 49 qm Ausdehnung und ist in nur 1 m Stärke in der Mischung 1 Th. Cement, 1 Th. Kalk, 2 Th. Sand und 6 Th. Granitschotter, mit Zusatz von Schmiedekohlen-Schlacken, in Schichten von je 15 cm Höhe, welche gut gestampft wurden, hergestellt worden.

Abb. 90.



Querschnitt.

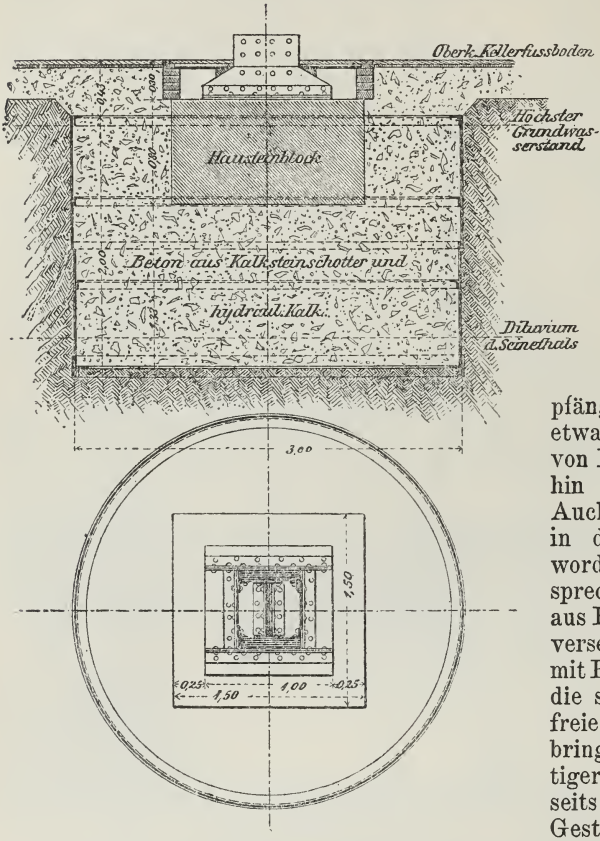
Das bedeutendste Beispiel, der Fundirung eines Kirchthurms auf Beton, bietet die Nikolai-Kirche in Hamburg, deren 147 m hoher Thurm (einer der höchsten überhaupt vorkommenden) auf einer 3,45 m hohen Betonplatte steht, während die Stärke der unter dem Kirchengebäude selbst liegenden Betonplatte 2,50 m beträgt. In die Platten sind zahlreiche Bandeisenstreifen eingelegt worden, um den Zusammenhalt der Masse zu befördern.

Ausnahmsweise hohe Belastungen haben die aus niedrigen zylinderartigen Betonkörpern, Abb. 91, bestehenden Fundamente der tragenden Pfeiler aus dem Magasin du Printemps zu Paris aufzunehmen. Diese Fundamentkörper sind unter Benutzung von Pressluft (pneumatische Gründung) niedergebracht; der dabei benutzte Blechmantel ist im Grunde belassen worden. Bei 2,43 m Höhe haben die Pfeiler 3 m Durchmesser und nehmen die Last von 350 000 kg vermittelst eines in dem Beton eingebetteten Steinwürfels von 1,5 m Seite auf. Es ergeben sich daraus Drücke zwischen Quader und Beton von 15,5 kg und in der Fundamentsohle von rund 5 kg für 1 qcm. Der Beton besteht nur aus Kalkstein-Schotter und hydraulischem Kalk. Die Fertigstellung eines solchen Fundaments erforderte nur die kurze Zeit von 24 Stunden.

Neben dem Zwecke der direkten Uebertragung der Last auf den wandelbaren Baugrund erfüllt eine Betonplatte auch den weiteren Zweck, das aufgesetzte Gebäude vor Erschütterungen zu sichern; hier ist es insbesondere

die Masse, welche zur Geltung kommt. Bei Gebäuden, wo selbst sehr leise Erschütterungen den Zweck derselben beeinträchtigen können, muss die Stärke der Platte über das zur Festigkeit ausreichende Maass hinaus erhöht werden. Auf einer Betonplatte von besonderer Stärke ist z. B. das Gebäude der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg errichtet worden.

Abb 91.



Den umgekehrten Zweck haben Fundamente von Dampfhämmern zu erfüllen, wenn dieselben auf Terrain errichtet werden, welches für Erschütterungen empfänglich ist und dieselben etwa — unter Gefährdung von Baulichkeiten — weithin fortpflanzen könnten. Auch bei solchen ist Beton in der Weise verwendet worden, dass man einen entsprechend grossen Kasten aus Eisenblech in den Grund versenkte, welcher nahezu mit Beton gefüllt ward. Auf die sorgfältig abgeglichene freie Oberfläche der Füllung bringt man eine Lage kräftiger Hölzer, welche ihrerseits das Dampfhammer-Gestell unmittelbar aufnehmen. —

Wenn der tragfähige Baugrund erst in sehr grosser Tiefe liegt und von der oben liegenden wandelbaren Schicht ein zu bedeutendes Setzen, bezw. auch seitliches Ausweichen unter der Last des Gebäudes befürchtet werden muss, wird eine Verbindung von Pfahlrost- mit Betongründung angewendet, wozu nachstehend einige Beispiele folgen:

Abb. 92 stellt die Gründung des für den Dampfbetrieb der Uferkrahne am Petersen-Kai in Hamburg erbauten Kesselhauses dar. Die Betonplatte liegt auf den Köpfen von Rostpfählen, welche so dicht gestellt sind, dass sie die gesammte Last auf den tief liegenden festen Grund übertragen; die oben liegende Bodenschicht wird nur — an Stellen wo die Pfähle mit grösserem Abstand gestellt sind, und auch hier nur — in nebensächlicher Weise belastet.

In gleicher Weise wie vor ist das neue Hamburger Rathhaus fundirt; es sind dabei etwa 4000 Rostpfähle von 12 m Länge in den Grund eingetrieben und die Betonplatte hat die Stärke von 1 m erhalten.

In mehr nebensächlicher Weise ist eine Betonplatte bei der Gründung des Speichers am Kaiserquai in Hamburg benutzt worden Abb. 93; sie hat hier nur die Aufgabe, einen gewissen Grad von Gleichmässigkeit in der Vertheilung der Last auf die einzelnen Gruppen der Rostpfähle zu bewirken, wobei ein kleiner Theil von dem Erdboden direkt aufgenommen wird.

Verschiedene Formen der Verwendung von Beton bei Ufer- oder Kaimauern und Brückenpfeiler-Fundirungen zeigen die nächstfolgenden Abbildungen.

Abb. 92.

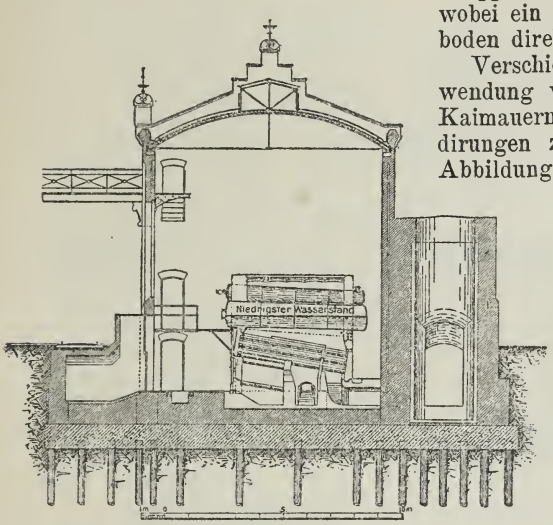


Abb. 93.

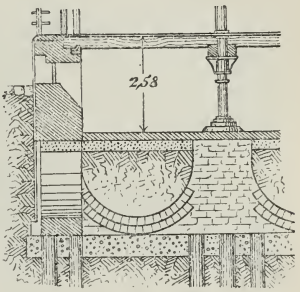


Abb. 94.

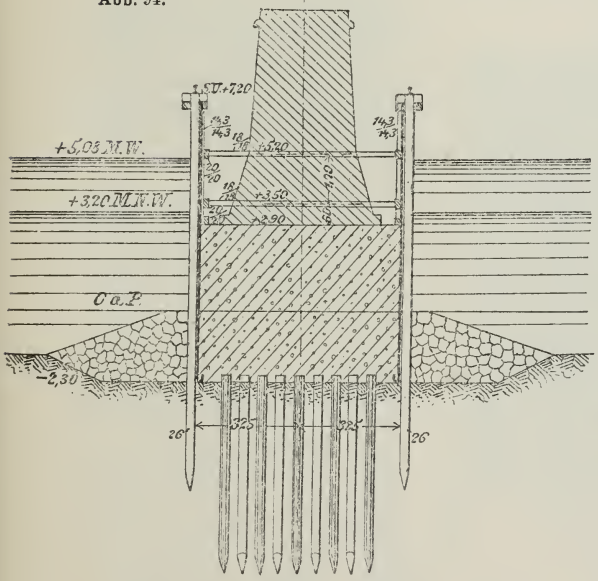


Abb. 95.

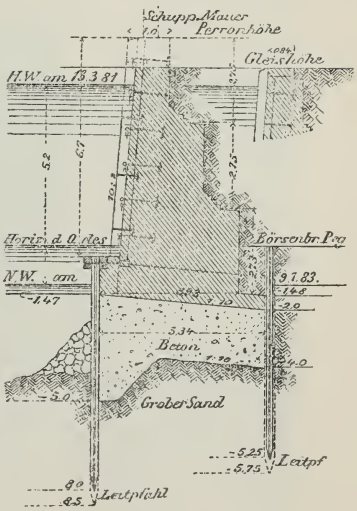
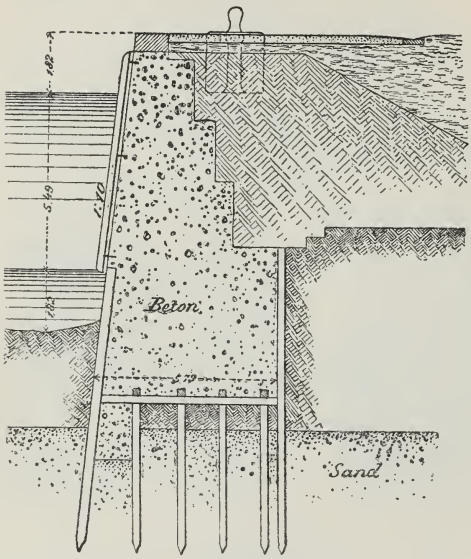


Abb. 94 giebt die Fundirung der Pfeiler der neuen Elb-Brücke bei Hamburg. Die Belastung wird durch kurze Rostpfähle grösstentheils auf den in mittlerer Tiefe liegenden festen Baugrund übertragen.

Abb. 95 stellt die Kaimauern am Weserbahnhof Bremen dar, welche

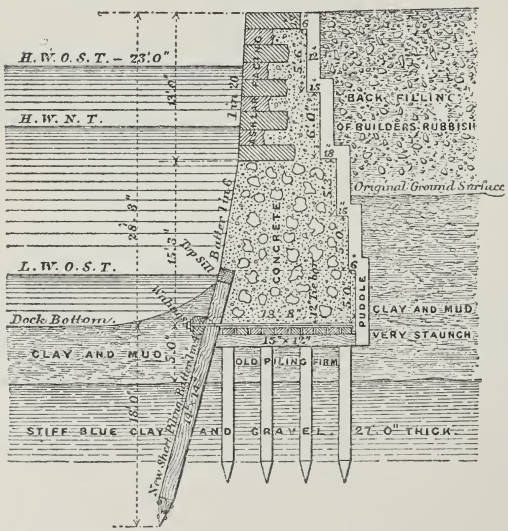
zur Verhütung der Gefahr des Unterspülens in festem Sandboden tief fundirt ist, und zwar an der Vorderseite tiefer als an der Hinterseite. Bei schlammigem Baugrunde würde man vorziehen müssen, die Sohle in gleicher und flacher Neigung nach hinten ansteigen zu lassen.

Abb. 96.



So sehr die Gründung von Kaimauern auf Beton im allgemeinen zu empfehlen ist, so sehr muss dieselbe den besonderen Verhältnissen des Einzelfalles angepasst werden, wenn nicht Misserfolge eintreten sollen. Solche sind bei englischen Anlagen mehrfach (z. B. in Boness und in Chatham) da vorgekommen, wo man Beton- und Pfahlrost-Gründung in unzweckmässiger Weise verbunden hatte, wie dies z. B. in der Konstruktion Abb. 96 der Fall ist. Hier sind die kurzen Rostpfähle Stuhlbeinen vergleichbar, welche selbst bei leichten Erschütterungen fortgeschoben oder „übergekippt" werden.

Abb. 97.

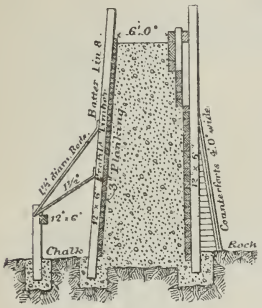


Auch die in Abb. 97 dargestellten Kaimauern am Dock-Hafen zu Limerick erscheinen nicht sehr rationell konstruirt, wenngleich für grössere Sicherheit gegen Umkippen etwas besser als bei der vorhergehend abgebildeten Konstruktion gesorgt ist.

Das Auffällige der Konstruktion erklärt sich aus dem Umstande, dass man den vorhandenen Pfahlrost einer alten, ins Rutschen gerathenen Kaimauer für die neue Mauer wieder benutzen wollte. Derselbe ist nur tiefer gelegt und verstärkt worden. Nach den in der Abbildung angegebenen Lagen der Wasserlinie hätte die Mauer fast ganz im Trocknen hergestellt werden können. Dass man sich für Beton entschied, bildet ein bemerkenswerthes Beispiel für die Vorliebe der englischen Techniker für Beton. Derselbe ist aus 1 Th. Cement, 2 Th. Sand und 3 Th. Schotter in Lagen von 90 cm (!) Höhe eingebracht und gestampft. Zur Einschüttung wurden

Kästen von 4 cbm Inhalt benutzt. In die Masse sind, unter Einhaltung einer Entfernung von 90 cm von der Vorderfläche, zahlreich Steine bis 75 kg schwer eingepackt worden.

Abb. 98.



Der besondere Grund der Gefährdung solcher Mauern ist wohl mit in der Starrheit des Betons zu suchen, welcher nennenswerthe elastische Bewegungen ausschliesst.

Abb. 98 giebt eine Ufermauer aus Newhaven, ganz in Beton hergestellt, mit ihrer Einschalung. Die Mauer steht auf Kalkfelsen, der für die sichere Aufstellung der Schalung einige Unbequemlichkeiten bot. Es sind in denselben Vertiefungen für die Stützen eingearbeitet, deren Fuss mit Beton umschüttet ist — eine einfache, aber auch nur in geschützten Lagen, unter Benutzung von rasch bindendem Cement, benutzbare Aufstellungsweise.

Einige Beispiele zweckmässiger Verbindungen von Pfahlrost- und Betongründung folgen.

Abb. 99.

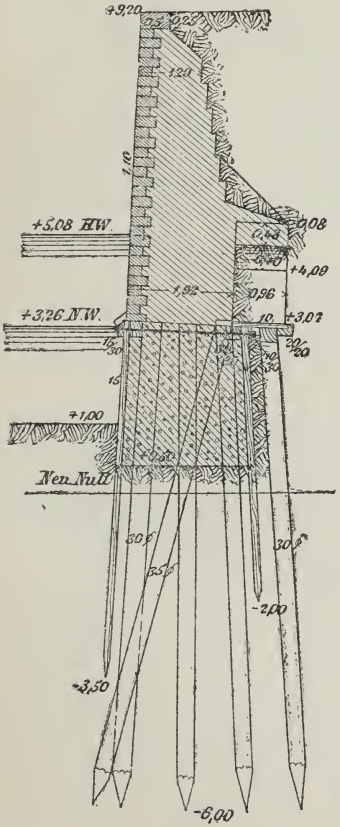
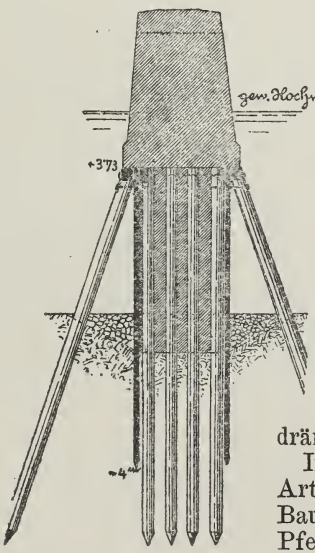


Abb. 99 stellt eine Fundirung der Ufermauern am offenen Elbstrom zu Hamburg dar, wie sie bei sehr tiefer Lage des festen Baugrundes ausgeführt ist. Zwischen den Köpfen der Rostpfähle ist eine von Spundwänden eingeschlossene, 2,76 m hohe Betonschüttung eingebracht, welche hier ausser dem raumabschliessenden Zweck noch den anderen erfüllt, die Rostpfähle so unter einander abzusteifen, dass sie dem Druck des hinterlagernden Erdreichs gegenüber als Ganzes wirken und nicht etwa einzeln hinüber gedrängt werden.

Abb. 100.



In sehr kühner Art ist dieselbe Bauweise bei dem Pfeiler einer Drehbrücke in Hamburg, Abb. 100, durchgeführt, der von beiden Seiten frei steht und bei welchem die Höhe der Betonschüttung zwischen den Pfahlköpfen fast 5 m beträgt.

Der Pfeiler hat aber nur geringen einseitigen Druck auszuhalten und es kommen der Wirksamkeit der Betonschüttung die beiderseits stehenden Strebepfeiler zu Hülfe.

Eine bemerkenswerthe Leistung, welche unter Verwendung von Beton ausgeführt worden ist, veranschaulichen die Abbildgn. 101 u. 102. Es war der Pfahlrost unter dem Mittelpfeiler einer eisernen Chausseebrücke in der Nähe von Bremen so schadhaft geworden, dass derselbe entweder abgetragen oder unterfangen werden musste. Die schadhafte Gründung des Pfeilers stellt Abb. 101 dar, den durch die Unterfangung geschaffenen Zustand Abb. 102. Es wurde der Pfeiler mit einem möglichst gut abgedichteten Holzkasten umschlossen und alsdann der zwischen der alten Fundament-Umschliessung liegende freie Raum 2 m hoch mit Beton gefüllt. Darnach senkte man den Wasserspiegel bis zur Höhe der Betonschicht ab, schnitt, einen nach dem anderen, die schadhaften Pfahlköpfe ab und stellte auf der Betonschüttung zum Ersatz derselben eine Uebermauerung her.

Abb. 101.

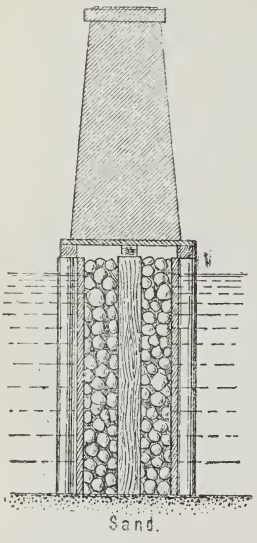
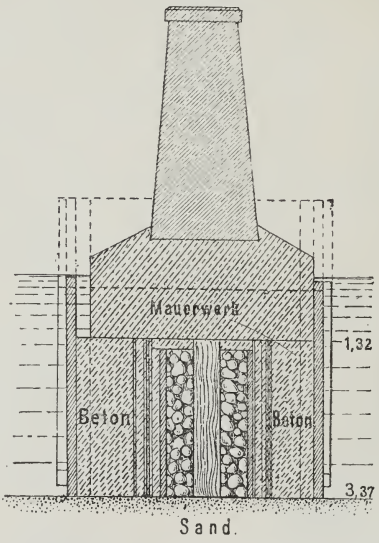


Abb. 102.



Eine gewisse Aehnlichkeit mit dieser Pfeilerreparatur besitzt die Art und Weise, wie die Sicherung einer hölzernen Landebrücke in Lowestoft ausgeführt worden ist. Es wurden zwischen die tragenden Pfähle Säcke, welche bis zu $^3/_4$ mit Cement gefüllt waren, geworfen und durch Taucher unten etwas zurecht geschoben. Der hölzerne Kai wurde dadurch gewissermaassen versteinert und dicht, so dass jetzt Schiffe an ihm hinreichend ruhiges Wasser finden, um anlegen zu können. —

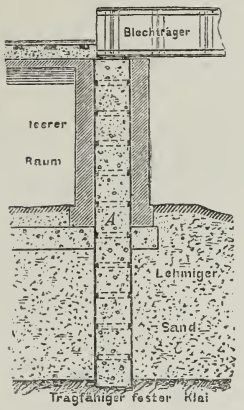
Sehr ausgedehnt findet die Benutzung von Beton bei den Gründungsweisen mit Röhrenpfeilern, auf Brunnen und Kasten, sowie mittelst Luftdruck statt.

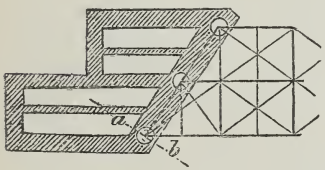
Bei der Gründung mit röhrenartigen Pfeilern wird der Hohlraum der (Eisen-) Zylinder, wenn diese bis zu der beabsichtigten Tiefe hinabgebracht und ausgebaggert sind, mit Beton gefüllt — und zwar mittelst Nassbetonirung. Da es sich nur darum handelt, durch die Ausfüllung den Pfeilern die nöthige todte Masse zu verschaffen, wie desgleichen den dünnwandigen Eisenmantel gegen Eindrücke von Aussen zu sichern, sind an den Füllbeton keine besonders hohen Anforderungen zu stellen; oft werden auch noch die in den Zylindern vorläufig angebrachten aussteifenden Holzspreitzen die Qualität der Leistung beeinträchtigen. Um eine gewisse

Sicherheit für Dichtheit des Betons zu schaffen, muss die Mischung nass und nicht zu mager genommen werden.

Eine eigenthümliche Röhrenpfeiler-Gründung ist in Abb. 103 dargestellt. Bei einer in der Nähe von Lincoln erbauten Eisenbahnbrücke mit 3 Oeffnungen ruhen die eisernen Träger unmittelbar auf den mit Beton gefüllten Röhrenpfeilern, die bis in den tief liegenden festen Baugrund hinabgeführt sind. Röhrenpfeiler stehen auch in den Endwiderlagern; doch sind dieselben hier mit Mauerwerk umkleidet und ist letzteres nach der Rückseite hin bedeutend verlängert. Indem in demselben 4 Hohlräume (Kammern) angelegt wurden hat man sein Gewicht thunlichst verringert, so dass die Hinabführung bis auf den festen Baugrund unnöthig war.

Abb. 103.





Im Prinzip stimmt mit der Röhrenpfeiler-Gründung die Gründung auf Brunnen und Kästen überein; es tritt an die Stelle des eisernen Zylinders (wenigstens für den unter Wasser liegenden Theil) ein gemauerter, oder auch hölzerner Brunnenschacht, letzterer gewöhnlich als „Kasten“ bezeichnet. An den älteren Hamburger Dampfschiff-Häfen am Grasbrook ist die Brunnengründung der Kaimauern in der Art und Weise ausgeführt, wie Abb. 104—105 zeigen. Die im Grund-

Abb. 104.

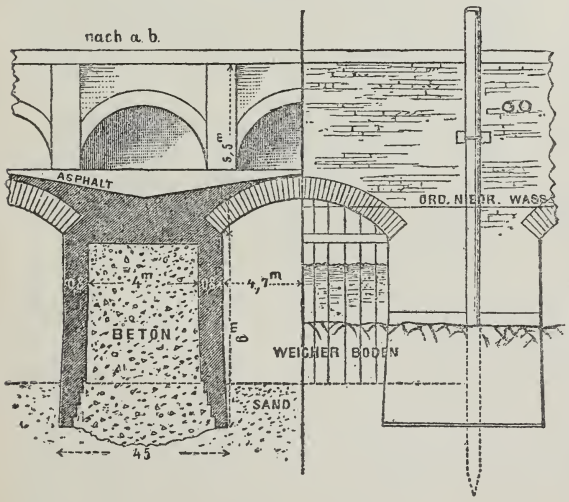
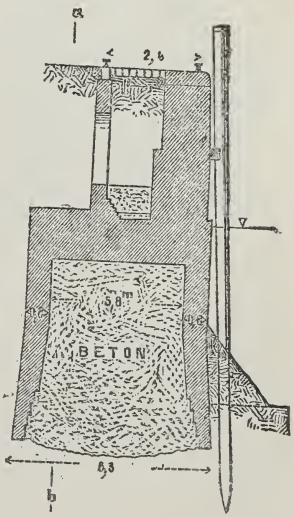


Abb. 105.



riss ovalen gemauerten Brunnen haben 5,8 bezw. 4,0 m lichte Weiten bei etwa 6 m Höhe und sind in Abständen von 15 m von Axe zu Axe gestellt; der zwischen je zwei Brunnen frei gebliebene Raum ist oben durch ein Gewölbe überdeckt und die so entstandene thorartige Oeffnung durch eine

Pfahlwand gegen das hinterliegende Erdreich abgeschlossen. Die Brunnen sind mit Beton gefüllt wie ebenso ein Hohlraum in der aufgesetzten Mauer im unteren Theile.

Ueber die bisher besprochenen Verwendungsweisen des Betons als blosses Füllmittel der Fundamente, welches gleichzeitig dem Zwecke der Abhaltung des Wassers dienen, hinaus gehend, liegen aus England Beispiele vor, bei denen auch die Brunnen selbst aus Beton hergestellt sind.

Abb. 106, 107 zeigt die Betonbrunnen-Gründung einer Kaimauer an den Stobcross-Docks in Glasgow. Abb. 107 c stellt die gusseiserne Brunnenschlinge dar, auf welcher die 8,6 m hohen Brunnen aus Beton-Formstücken von 0,7 m Höhe erbaut sind. Diese Formstücke haben Kleeblatt-Gestalt, sind aus Stampfbeton hergestellt und wurden mit Hülfe von Krähnen an Ort und Stelle verbracht und auf Mörtelbett versetzt. Abb. 107 a. u. b. geben die Aufsichten von zwei auf einander folgenden Schichten, aus welchen die stattfindende Versetzung der Stossfugen erkennbar ist. Desgleichen lassen dieselben den Abschluss der zwischen zwei Brunnen verbleibenden, der ganzen Höhe nach durchgehenden Stossfuge erkennen; es ist in dieselbe an der Vorderseite ein Holzpfahl gestellt. Die Herstellung der Ringe in Formkästen, in welchen dieselben 3 Tage lang belassen wurden, um alsdann, genau übereinstimmend mit der späteren Lage in dem fertigen Brunnen, auf einander gestapelt zu werden, verbürgt ein ausserordentlich genaues Zusammenpassen der Stücke und folgeweise eine Ausführung von besonders grosser Solidität. Auffallend ist hierbei, sowie bei der Thatsache, dass die Brunnen etwa zur halben Höhe frei am Wasser

Abb. 106.

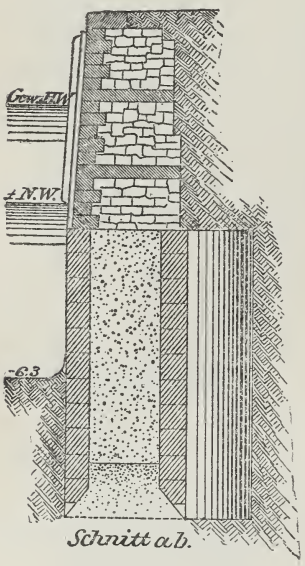
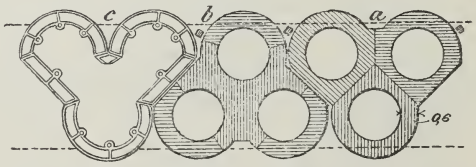


Abb. 107.

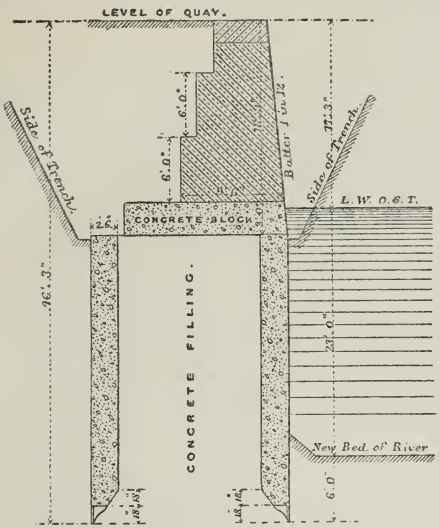


stehen, nur der Umstand, dass man nicht auch die aufgehende Mauer in Betonbau hergestellt hat. Zur Erklärung genügt aber wohl der Umstand, dass zur Zeit der Ausführung des Baues — Anfang der 70 er Jahre — die über die Bewährung von Betonbauten vorliegenden Erfahrungen noch spärliche waren.

Eine anderweite Betonbrunnen-Gründung, ausgeführt für eine unmittelbar an der Seeküste stehende Kaimauer im Hafen von Colombo stellt Abb. 108 dar. Hier haben die Brunnen etwa gleiche Höhe wie im vorigen Beispiel, sind aber ohne Verbindung neben und hinter einander gestellt und es erhebt sich auf ihnen zu nur etwa 3 m Höhe die gleichfalls in Beton hergestellte Mauer. Die Ringe sind von grösserer Höhe wie in Glasgow (etwa 1 m) und stehen nicht mit glatten Fugen aufeinander, sondern es greifen die Berührungsflächen mit Zahnung in ein-

ander — eine gegen das Rütteln durch den Wellenschlag getroffene Sicherheitsmaassregel. Die Zwischenräume der Brunnen sind, wie die Brunnen

Abb. 109.



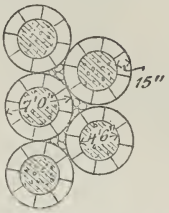


Abb. 108.

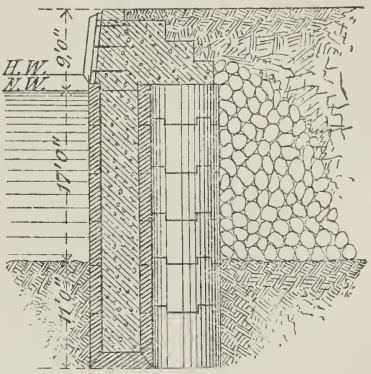
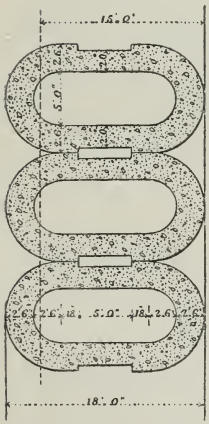


Abb. 110.



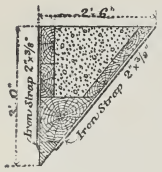
selbst, mit Beton gefüllt; hinter dieselben ist eine Steinschüttung gebracht. Die Mischung des Betons zu den Brunnen bestand aus 1 Th. Cement, 2 Th. Sand, 3 Th. Geschieben.

Die grössten Betonbrunnen sind im Hafen von Cork verwendet. Sie haben, Abb. 109 u. 110, oblonge Form mit den Durchmessern von fast 6 m, bezw. 4 m und der Wandstärke von 0,75 m. Die Brunnen sind voll geschüttet; oben auf die Schüttung ist ein Betonblock gelegt, auf welchem die Mauer ruht. Bei so schweren Stücken, wie in diesem Falle, ist unter schwierigen äusseren Verhältnissen auf einen einigermassen dichten Zusammenschluss von zwei bei einander stehenden Brunnen nicht zu rechnen, selbst wenn hier durch Abplattungen auf dieses Ziel hingearbeitet wird. Es sind bis 45 cm weite Zwischenräume zwischen den vorspringenden Flächentheilen verblieben; um diese — erwarteten — Zwischenräume besser schliessen zu können, hat man in den Berührungsflächen breite Nuthen hergestellt, so dass hier eine Gesammtweite des Spalts von 0,75 m entstand, dessen Füllung mit Beton keine Schwierigkeiten verursachte. Die Mischung des Betons zu den Brunnen bestand aus 1 Theil Cement und 6 Theilen Kiessand.

Auf Brunnen von viereckigem Grundriss von etwa 6 m und 3 m Seitenlänge ist im Hafen von Lowestoft eine „Seemauer“ gegründet. Sie wurden aber nicht in Ringen hergestellt, sondern durch Stampfen an Ort und Stelle; den dabei benutzten hölzernen Schling zeigt Abb. 111.

Aehnliche Brunnenformen wie in den mitgetheilten Beispielen sind auch für Gründungen zu Brückenpfeilern zur Anwendung gekommen. Bei der Beschränkung der Pfeilerstärke, welche meist angestrebt wird, ist es zweckmässig, zu dem zur Füllung der Brunnen benutzten Beton ein Steinmaterial von hohem spezifischen Gewicht zu verwenden. —

Abb. 111.

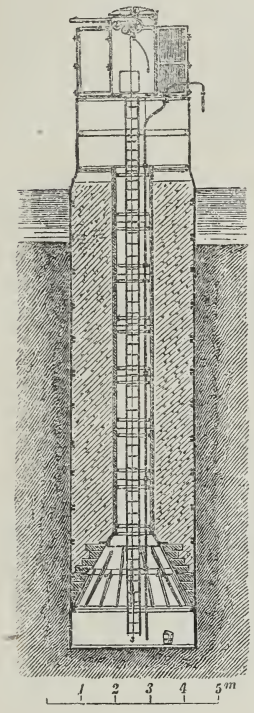


Für manche Orte mit wechselndem Baugrund und im allgemeinen grosser Tiefenlage der tragfähigen Schicht ist für Hochbauten die Brunnengründung wie geschaffen. Da es sich dabei um Fundamentmauer-Stärken handelt, die nur in sehr geringem Maasse wechseln, ist gerade für sie die Verwendung von Brunnen aus Beton ganz besonders geeignet. Es muss daher fast Befremden erregen, dass dieselben bisher für diesen Zweck so viel bekannt, noch nicht benutzt worden sind. In Berlin z. B. steht die sogen. Kastenfundirung in täglichem Gebrauch, eine Gründungsweise, gegen welche die Gründung auf Betonbrunnen zweifellos Vorzüge besitzen würde, sowohl in Bezug auf Zeitdauer als in Bezug auf den Kostenpunkt. Letzteres ist sofort klar, wenn man nur bedenkt, dass der aus ziemlich schweren Hölzern gezimmerte Kasten, mit den grossen darin steckenden Holzmengen im Grunde verbleibt. Es würde allen Anschein nach ein lohnendes Unternehmen sein, Normalbrunnen zweckmässiger Form, die sich den wenig wechselnden Bedürfnissen des Hochbaues gut anschmiegen, den Baumeistern zur Verfügung zu stellen und durch einige Probe-Ausführungen die Vorzüge von Betonbrunnen-Gründung darzuthun. Es sei daher auf diesem Punkt die Aufmerksamkeit der Spezialisten des Betonbaues nachdrücklich hingewiesen. —

Bei Luftdruck-Gründungen ist die Benutzung von Beton kaum zu umgehen. Man bedarf desselben für den zweifachen Zweck: erstlich zur Beschwerung des Senkkastens (über der Decke der sogen. Arbeitskammer), um diesen zum Sinken zu bringen, und sodann zur Füllung der Arbeitskammer selbst, nachdem der Senkkasten den festen Baugrund erreicht hat. Man kann den Beton für ersteren Zweck bequem in derjenigen Menge einbringen, damit der Senkkasten entweder dem Weiterschreiten der Arbeit genau folgt, oder auch da, wo Wellenschlag den Senkkasten gefährdet, ihn gegen solche Gefahren durch Einwerfen hinreichender Mengen von Beton sicher stellt. Bei der festen Lage, die der Beton einnimmt, kommen auch die Gefahren in Wegfall, welche die Einpackung loser und darum beweglicher Steinmassen für den Senkschacht mit sich bringt. — Zum schliesslichen Ausfüllen der engen Arbeitskammer ist Beton kaum zu entbehren, wenn man einigermaassen sicher gehen will, dass die Decke der Arbeitskammer gut unterstützt wird und bei der schweren auf ihn ruhenden Pfeilerlast nicht auf grössern Flächentheilen frei tragend bleibt. Verhältnissmässig leicht geht die Füllung der Arbeitskammer mit Beton von Statten, wenn diese kegelförmig ist, während grosse Schwierigkeiten entstehen, wenn der Deckel derselben eben gestaltet ist. Im ersten Falle wird man oft schon durch blosse Schüttung seinen Zweck erreichen, während im letzteren allerlei Hilfsmittel — wie z. B. Zerlegung der Kammer durch Mauerpfeiler oder Mauern in eine Anzahl kleiner Räume — angewandt werden müssen. Besonders gross sind die Schwierigkeiten bei Arbeitskammern mit Holzumschliessungen, weil die nothwendigen Abspreitzungen die Zugänglichkeit aller Theile des ohnehin beengten Raumes

noch mehr hindern. Die verschiedenen Ecken und Winkel in solchen Fällen mit Mauerwerk schliessen zu wollen, würde kaum Erfolg verheissen, während die Schliessung mit Beton immer möglich bleibt. Für die Füllung der Arbeitskammer muss oben besonders fetter Beton benutzt werden, weil derselbe der Gefahr der Ausspülung unterworfen ist; ausserdem muss er eine gewisse Festigkeit erreichen, gross genug, um die Pfeilerlast aufnehmen zu können. —

Abb. 112.



3

Abb. 11

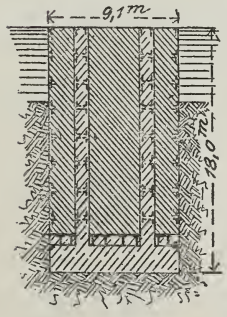


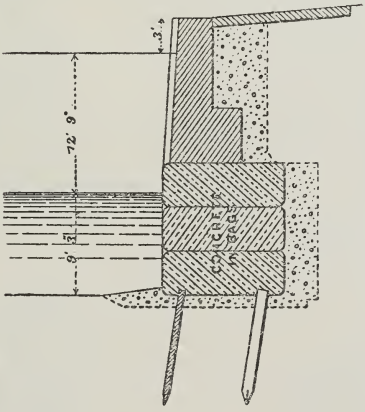
Abb. 112 stellt die mittelst Luftdruck bewirkte Pfeiler-Gründung der Brücke über die Seine bei Argenteuil dar, und zwar in dem Zustande, wo der Senkschacht mit Beton gefüllt ist, während die Füllung der Arbeitskammer mit Beton noch aussteht.

Abb. 113 stellt die Luftdruck-Gründung eines Pfeilers der Po-Brücke bei Borgoforte im vollendeten Zustande dar. Hier sind nur die Arbeitskammer und die beiden Einsteigeschächte mit Beton gefüllt, während zur Senkschacht-Füllung Mauerwerk benutzt ist.

Sehr ausgedehnte Gründungen solcher Art unter Verwendung von Beton sind diejenigen eines Trockendocks in Toulon von 144 m Länge und 41 m Breite, wobei etwa 12000 cbm Beton verbraucht wurden, und die der Kaimauern an der Schelde zu Antwerpen. Ueber beide Ausführungen vergl. in Brennecke, Der Grundbau.

Abb. 114 giebt ein Beispiel von der Gründung einer Mauer am Fischerhafen zu Aberdeen, wobei sowohl Betonschüttung als sogen. Sackblöcke, letztere in der Grösse von 5—6 cbm angewendet sind; die Konstruktion ist etwas gekünstelter Art.

Abb 114.



Eine Kaimauer-Gründung auf Blöcken, wie sie u. a. in Marseille, später auch in Suez an offenem Wasser ausgeführt ist, zeigt Abb. 115. Auf einer losen Schüttung von Steinen (bei welcher diese nach oben hin kleiner werden) wurden von schwimmenden Rüstungen aus mit Hilfe von Tauchern Blöcke so versetzt, dass ihre Längenrichtung in die Querrichtung der Mauern fällt. Um den Schub der hinterlagernden Massen zu verringern, findet Hinterfüllung mit Steinschüttung statt. Bedingung für die Haltbarkeit solcher Mauern ist, dass der Grund rein war oder rein gebaggert ward und die

Schüttung auf dem Grunde eine feste Lagerung erreicht, bevor das Aufsetzen der Blöcke beginnt.

Beispiele der Gründung von Mauern auf Blöcken im Hafen von Cork zeigen Abb. 116, 117.

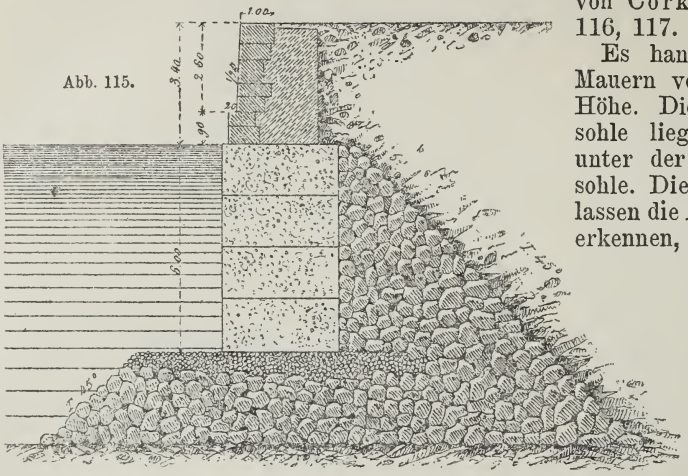


Abb. 115.

Es handelt sich um Mauern von etwa 13 m Höhe. Die Fundamentsohle liegt nur wenig unter der festen Flusssohle. Die Abb. A, B, C lassen die Art und Weise erkennen, wie unter den einzelnen Blöcken ein gewisser Zusammenhang hergestellt ist. Es sind in den Stossfugenflächen der Blöcke

Abb. 116.

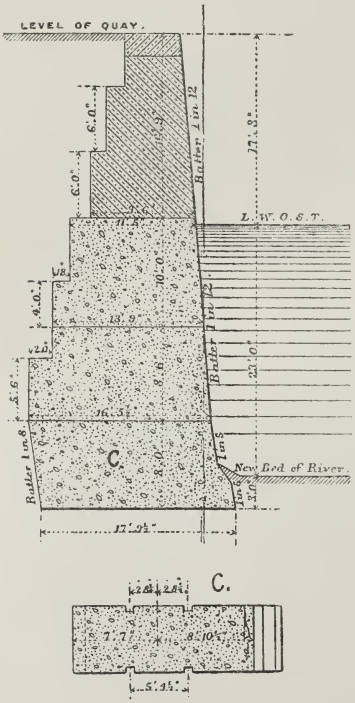
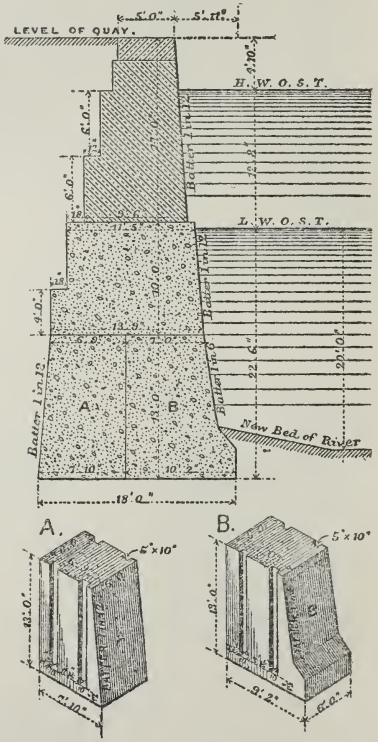


Abb. 117.

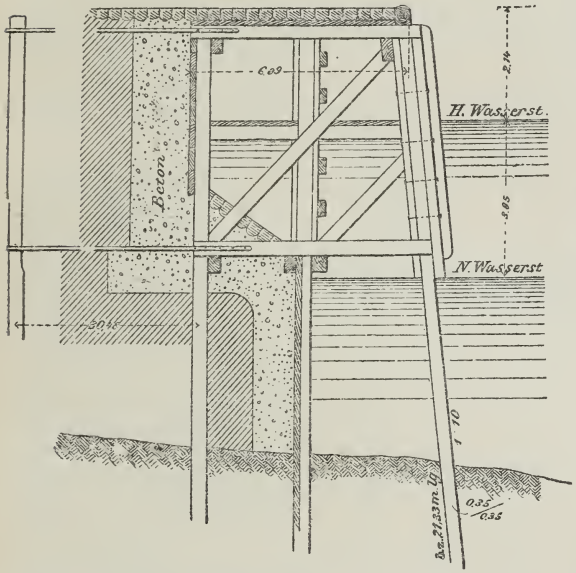


Nuthen so ausgespart, dass die Nuthen von zwei neben einander liegenden Blöcken aut einander treffen. Die so entstehenden geschlossenen Hohl-

räume wurden mit Mörtel gefüllt, welcher also in der Art von Pflöcken in der Masse wirkt und einen gewissen, aber kaum sehr hoch anzuschlagenden Zusammenhang hervor bringt.

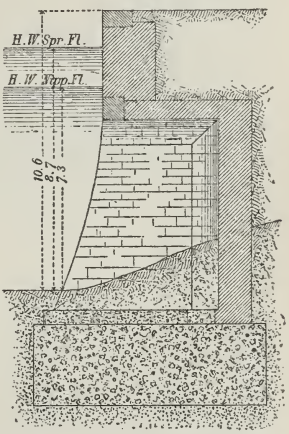
Abb. 118 stellt eine eigenthümliche Kaimauer-Konstruktion vom Albert-Dock zu Hull dar. Da der untere Theil der Mauer mechanischen Angriffen ganz entzogen ist, hätte sich für denselben auch wohl die — billigere — Ausführung in Beton geeignet. Indessen scheinen Wölbkonstruktionen in Beton selbst bis in die neueste Zeit hinein bei den englischen Technikern nicht beliebt zu sein, eine Thatsache, welche im Gegensatz zu der wachsenden Verbreitung des Betongewölbe-Baues in Deutschland steht und angemerkt zu werden verdient.

Abb. 119.



Gleichfalls eine eigenthümliche Konstruktion, die unter Mitverwendung von Beton hergestellt ist, zeigt Abb. 119, welche eine Lande-Vorrichtung

Abb. 118.



für Personendampfer zu Greenock darstellt. Durch die Betonlage wird das vorgebaute Holzgerüst von dem Schub der Hinterfüllungserde mehr oder weniger frei, so dass dasselbe nicht tief in den Grund zu reichen braucht; ausserdem ist die Vornahme von Reparaturen die an dem Landewerk etwa nothwendig werden, sehr erleichtert.

b. Schleusen, Wehre und Trockendocks.

Schleusen sowohl als Trockendocks sind Bauwerke, die besonders hohen Beanspruchungen und daher hoher Gefährdung unterliegen.

Die Belastung von Trockendocks ist stark wechselnd; im leeren Zustande ist ein Dock einem schwimmenden Gefäss vergleichbar, welches an allen Seiten von aussen gedrückt wird, und den höchsten äusseren Druck im Boden erleidet. Bei Wasserfüllung des Docks wird dem Aussendruck ein nahezu gleicher, innerer entgegengesetzt; es findet also Wechsel statt, der mit mehr oder weniger grossen Formänderungen des Bauwerks verknüpft ist, welche sich bei den Böden in Hebungen und Senkungen von mehreren Centimetern leicht erkennen lassen. Anderweite und anders geartete Formänderungen finden statt, wenn auf dem Dockboden ein Schiff aufgestellt und trocken

gelegt ist, da es sich hierbei um lokale Drücke und um mehr oder weniger grosse Verschiedenheiten in der Vertheilung derselben auf den Dockboden handelt. Endlich kommen die bei Temperatur- und Feuchtigkeits-Zuständen der unter Wasser und der zu Tage liegenden Theile des Bauwerks stattfindenden Verschiedenheiten in Betracht, welche gleicher Weise in Bewegungen von Theilen des Bauwerks in die Erscheinung treten.

Aehnlich wie Trockendocks, doch etwas weniger hoch, werden Schleusen beansprucht. Die Entstehung von Rissen und offenen Fugen ist daher in Bauwerken dieser Art sehr begünstigt, während andererseits an sie die Forderung möglichster Wasserdichtheit erhoben wird.

Es kann unter solchen Umständen fraglich sein, ob der Betonbau gerade für diese Zwecke eine besondere Eignung besitzt. Um so mehr überrascht es und in ein höchst günstiges Licht wird der Betonbau durch die vielfachen Ausführungen gerade von Trockendocks und Schleusen, welche in englischen Häfen neuerdings stattgefunden haben, versetzt; es erscheint daher angezeigt, von solchen Konstruktionen einige Beispiele folgen zu lassen.

Abb. 120.

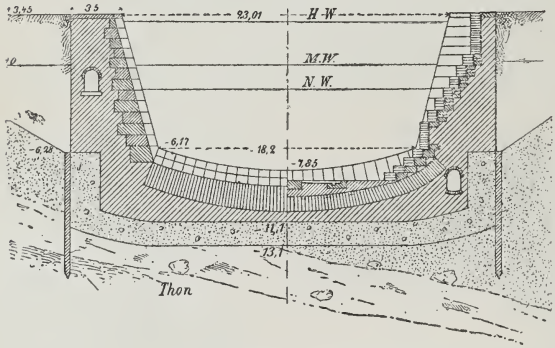
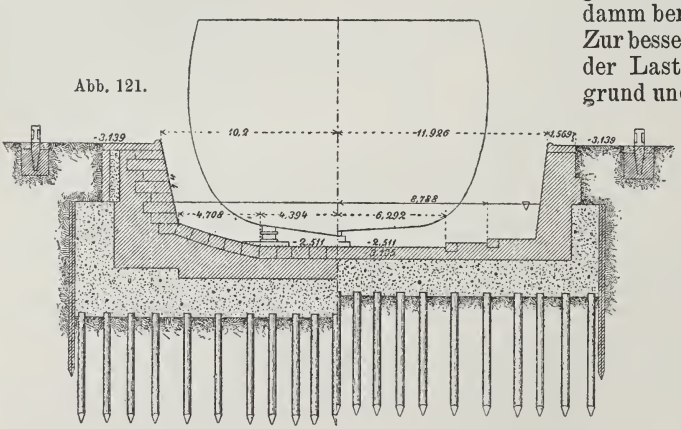


Abb. 120 und 121 geben Durchschnitte von den Fundirungen der Trockendock- bezw. Helling-(Helgen-)Anlagen im Kriegshafen zu Kiel. Bei beiden Konstruktionen ist die Betonschüttung zu den Seiten in die Höhe gezogen, um gleichzeitig als Fangedamm benutzt zu werden. Zur besseren Vertheilung der Last auf dem Baugrund und um an Bodenförderung zu sparen, ist die Fundamentsohle nach den Seiten hin höher gelegt als in der Mitte. Die Arbeit ist als Nassbetonirung ausgeführt, obwohl es vielleicht möglich gewesen wäre, Trockenbetonirung anzuwenden. Man ist bei der — von vorn herein geplanten — Nassbetonirung stehen geblieben aus Rücksicht auf den Quellenreichthum des Grundes. Auch wenn es gelingt, die Baugrube trocken zu legen, kann bei derartigem Grunde die Nassbetonirung mehr Sicherheit für den Erfolg bieten, als die Trockenbetonirung, weil die Wahrscheinlichkeit, bei letzterer dichten Beton zu

Abb. 121.



erzielen, nur gering ist. Ein Unfall an dem Wasserschöpfwerk, die Unachtsamkeit eines Beamten oder Arbeiters, die Nothwendigkeit von Unterbrechungen zu unpassender Zeit können Gefahren für den bereits fertig gestellten Theil einer Trockenbetonirung mit sich bringen, indem sie dieselbe unzulässig hohen Spannungen aussetzen, oder auch Quellen, welche bereits unterdrückt waren, zu neuen Auswegen verhelfen, welche durch ihre Lage oder Mächtigkeit gleich oder später sich als verhängnissvoll für den Bestand des Bauwerks erweisen. Diese Bemerkungen seien in Anknüpfung an das, was Seite 105 ff. zur Vergleichung der beiden Betonirungsweisen mitgetheilt ist, hier nachgetragen.

Für Kaimauer-, sowohl als Dock- und Schleusenmauer-Konstruktionen fordert der Schutz derselben gegen mechanische Angriffe der frei liegenden Vorderfläche Aufmerksamkeit. Durch den Gegenstoss von Schiffen, Booten, schwimmenden Hölzern usw., wie auch durch die reibende Wirkung des mit Sand beladenen bewegten Wassers, wird jene Fläche mehr oder weniger heftig angegriffen; dies gilt insonderheit für die im sogen. Wasserwechsel und wenig hoch über den Wasserspiegel liegende Zone der Mauerfläche. Bei Schleusenmauern kommt der Angriff durch das Gegenstemmen mit Bootshaken, der heftige Druck von Schiffswandungen und bei Trockendocks das Setzen und Ankeilen von Spreitzen, das Hineinwerfen bezw. Fallenlassen schwerer Holz- und Eisentheile auf die Gallerien und den Dockboden hinzu.

Bei den ältern Ausführungen in England hat man in Verkleidungen der Mauern aus Natursteinen oder auch sogen. Blue bricks Schutz gegen Schäden der hier fraglichen Art geschaffen, mitunter in der Weise, dass nur einzelne Steinschichten eingelegt wurden, so dass ein regelmässiger Wechsel zwischen Beton- und Steinfläche entstand.

Die Zweckmässigkeit solcher Verkleidungen ist, was Kaimauern betrifft, nicht zweifelsfrei, da es sich, wenn sie nur dünnwandig sind, ereignen kann, dass sie bei heftigem Druck oder Stoss sich ablösen — „abplatzen". Von dieser Gefahr sind freilich Steinverkleidungen, wenn in grösserer Stärke ausgeführt, so dass nur die ausreichende Masse vorhanden ist, frei. Bei der Kostspieligkeit starker Steinverkleidungen ist man in England später zum gänzlichen Aufgeben derselben oder zu wesentlichen Beschränkungen in der Ausdehnung übergegangen. Man hat die Schichtung bei der Steinverkleidung unterlassen und z. B. nur grössere Stücke aus härterem Gestein unregelmässig in den Beton so eingebettet, dass die leidlich ebene Fläche dieser „Einlagen" in der Vorderfläche der Kaimauern sichtbar wird. Wo man sich nicht für gänzliches Aufgeben entschied, hat man nur in den betreffenden Höhenzonen ein paar tief einbindende Steinschichten eingelegt. Ferner auch hat man in diesen Zonen vorläufig Aussparungen von passender Tiefe gemacht und dieselbe später mit einem Beton fetterer Mischung geschlossen. Anderweitig ist selbst von dieser einfachen Schutzvorkehrung Abstand genommen worden, nachdem die Erfahrung öfters gelehrt hat, dass da, wo nur hoher Druck (kein Stoss) zu erwarten, der gewöhnliche Beton ausreichend haltbar ist. Die 3 km langen Kaimauern aus Beton an den Albert-Docks im Hafen von London sind ohne Einlagen irgend welcher Art hergestellt, während — neuere — Beton-Kaimauern in den Tilbury-Docks zu London durchaus mit einer schweren Verkleidung von Blue bricks versehen worden sind.

Die hier aufgeworfene Frage ist, was Kaimauern, oder überhaupt Mauern, an denen Schiffe anlegen, betrifft, nicht allgemein entscheidbar, sondern kann zutreffend nur von Fall zu Fall gelöst werden, wobei —

wie selbstverständlich — nicht nur die Anlagekosten, sondern auch die späteren Unterhaltungs-Kosten des Werks in Rechnung gestellt werden müssen.

Wenn man von Einlagen oder Verkleidungen absieht, muss die Betonmasse in dem nach aussen liegenden Theil der Masse fetter und dichter angemacht werden, um ausreichend widerstandsfähig zu sein.

Da, wo, wie z. B. in Schleusen und Trockendocks, heftige Stösse oder grosse Abnutzung zu gewärtigen ist, kann Verblendung bezw. Abdeckung der Betonmauern mit hartem Gestein, wenn auch unter Beschränkung auf einzelne Streifen oder Absätze usw., nicht entbehrt werden. In Trockendocks findet man dem entsprechend auch den Boden und die Gallerien überall mit hartem Werkstein oder Ziegeln von besonders grosser Festigkeit verkleidet und es kommen bisher nur ausnahmsweise Trockendocks ganz in Betonbau ohne Verkleidung der frei liegenden Ansichtsflächen vor. In Birkenhead, wo ein paar solcher Docks sich befinden, hat man nur an den obersten Höhentheilen der Betonmauern-Verkleidung mit Werkstein ausgeführt.

Die neue Schleuse zwischen der Themse und dem Vorbassin des Albert-Docks in London, welche 11 m unter Spiegel der Springfluth tief ist, also einen sehr bedeutenden Auftrieb bezw. Bodendruck erleidet, ist in Stampfbeton mit $1^1/_2$ Stein starker Backstein-Verkleidung der Ansichtsflächen erbaut, u. z. indem man zunächst die in der Sohle 5 m starken Seitenmauern aufführte und den sich gegen Ansätze der Seitenmauern stützenden Boden nachher einlegte. Es handelt sich hierbei um ein Werk von aussergewöhnlicher Bedeutung, dessen Ausführung in

Abb. 122.

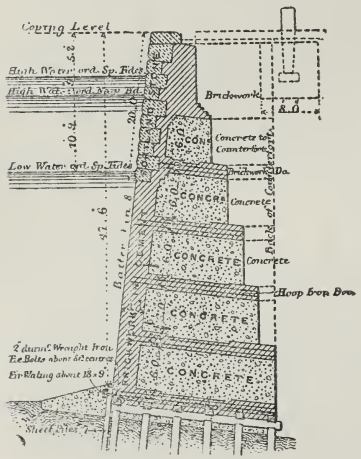
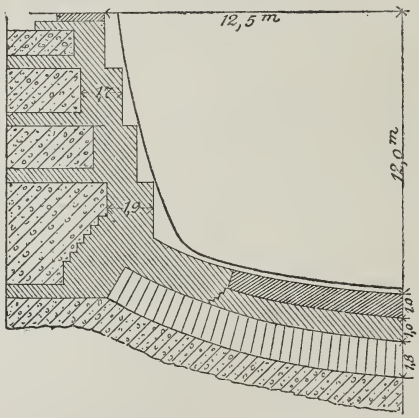


Abb. 123—125, Trockendocks zu Chatham.

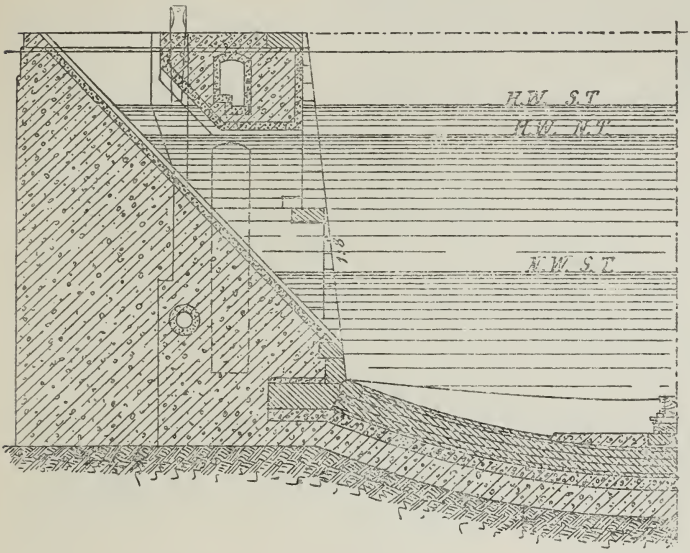


Beton ebenfalls einen Beweis von der Ueberzeugung vollkommenster Zuverlässigkeit bildet, welche die englischen Ingenieure dem Betonbau beimessen.

Abb. 122 zeigt den bei den Hafen-Erweiterungen zu Portsmouth und Chatham anfänglich ausgeführten Typus der Kaimauer-Konstruktion: einem Gerippe von Ziegelstein, bei welchem die frei liegende Vorderfläche etwa 0,9 m Stärke hat und die wagrecht eingelegten Ziegelstein-Bänder aus je 7 Steinschichten gebildet sind. Die Verblendung wird übrigens durch Bandeisen-Einlagen gehalten. Die Rolle

des Betons kann hier kaum eine andere als die eines blossen Füllmittels sein. (Ueber die Schwächen dieser Bauweise sind auf S. 84 einige Bemerkungen gemacht, auf welche hier verwiesen wird.) Man wendete diese Konstruktion da an, wo der feste Baugrund etwa 14—16 m tief lag und den Mauern keine besondere Leistung, was Widerstand gegen Verschiebung anbetrifft, zugemuthet zu werden brauchte.

Abb. 124.



Da in einem andern Theile des Dockyard zu Chatham der tragfähige Boden erst in 18 m Tiefe angetroffen ward und über demselben eine sehr bewegliche Schicht lag, musste

Abb. 125.

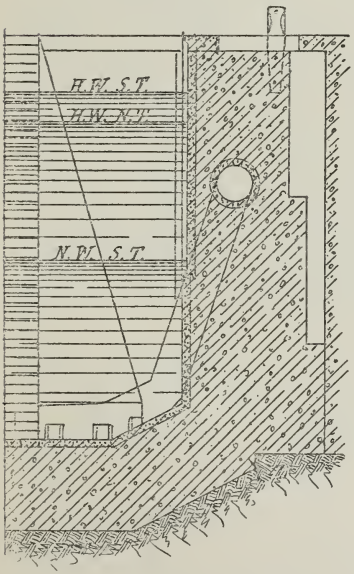
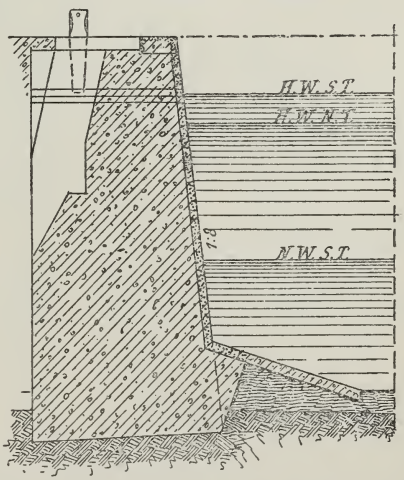


Abb. 126, Schleuse zu Chatham.



man zu erheblich verstärkten Profilen übergehen, deren höhere Kosten den Gedanken an Ersparnisse beim Material nahe legten. Indem das Ziegelmauerwerk etwa den dreifachen Preis des Betons erreichte, entschloss man sich,

sowohl die Verblendung als die Bänder-Einlagen aufzugeben und die Mauern vollkommen einheitlich aus Beton herzustellen, was in der Folge auch geschehen ist. Um sich über den Widerstand des Betons gegen Stösse, überhaupt gegen mechanische Angriffe, zu vergewissern, machte der Bauleitende (Mr. Bernays) im Jahre 1874 einige besondere Versuche, welche so befriedigend ausfielen, dass man auch für die frei liegenden Mauerflächen den Beton in nur etwas fetterer Mischung für ausreichend halten konnte. Beim Aufziehen der Mauern wurde an der Vorderseite durch Einlegen einer Planke ein 22—25 cm breiter Raum abgegrenzt, welchen man mit Beton der Mischung 1 R. Th. Cement, 2 R. Th. scharfer Sand und 4 R. Th. auf Nussgrösse zerkleinerte Schlacken ausfüllte, der demnächst gestampft wurde. Diese Herstellungsweise hat sich, gleich wie an senkrechten Flächen, so auch bei den wagrechten Mauerabdeckungen gut bewährt.

Gleichartige Abwandlungen, wie die Kaimauerbauten weisen auch die Trockendocks und Schleusen in Chatham-Dockyard auf. Abb. 123 bezw. 127—129 zeigen die ursprüngliche Zellenbauweise mit Hausteingerippe und Betonfüllung der Zellen, während die Abb. 124—126 die spätere einheitliche Bauweise zur Anschauung bringen. In der Konstruktion, Abb. 123, ist eine obere und untere Lage des Betons nach der Fettigkeit des Mörtels unterschieden; auch sind sowohl hier, als in den übrigen mitgetheilten Konstruktionen die geraden (senkrechten oder stark geneigten) Flächen mit einer Schicht von Beton fetterer Mischung gedeckt.

Im allgemeinen sind die in Chatham angewendeten Betonmischungen sehr magere, da man bis auf 1 Cement und 12 Sand und Geschiebe da herab ging, wo nicht besonders hohe Anforderungen an die Leistung des Betons zu erheben waren.

Bei den etwa zu gleicher Zeit ausgeführten Erweiterungsbauten des Kriegshafens zu Portsmouth ist man mit der Verwendung von Beton im allgemeinen weniger weit gegangen als in Chatham; auch hat man sich bei den Mischungen oberhalb der Grenze von 1 : 11 gehalten. Meist wurde die Mischung 1 : 9 benutzt, oft 1 : 6 und man verfuhr dabei auch sehr sorgfältig, indem man nicht Raum- sondern Gewichts-Theile zu Grunde legte; zur Abmessung des Cements wurden Säcke benutzt. Die Einschüttung geschah mit Handmulden; überall wo Stampfen möglich war, ward davon Gebrauch gemacht; wo dies nicht der Fall wurde der Beton 1,5 m hoch mittelst Mulden geworfen; die Schichthöhe beim Stampfen nahm man nicht unter 45 cm an. Aus Bedenken über den Zusammenhalt von Beton ungleicher Mischung hielt man auf Einheitlichkeit der ganzen Masse und vermied es die frei liegenden Theile in fetterer Mischung herzustellen, als die hinterliegenden.

Die sehr ausgiebige Verwendung von Beton in Portsmouth-Dockyard lassen folgende Zahlen erkennen. Es wurden hergestellt: 265 000 cbm Beton, 23 000 cbm Ziegel- und 70 000 cbm Werkstein-Mauerwerk.

Abb. 127 giebt zwei an verschiedenen Stellen genommene Durchschnitte eines Trockendocks in Portsmouth-Dockyard, welches die aussergewöhnlichen Abmessungen von 125 m Länge, 33,5 m Weite und 14,5 m Tiefe besitzt. Es handelt sich aber um eine wenig einheitliche Konstruktion, in welcher Pfahlrost, Beton und Mauerwerk aus Ziegeln sowohl als Werkstein gemeinsam vorkommen und nicht durchgehends in Zusammenstellungen, welche gewissen, in Deutschland anerkannten Grundsätzen des Konstruktionswesens entsprechen. Die Konstruktion linker Seits ist rationeller als diejenige rechter Seits, insofern als der rechts an der Hinterseite vortretende Treppen-Ausbau nicht, gleich dem Dockboden, auf Pfahlrost gestellt ist;

bei solcher Verschiedenheit der Gründung können Brüche wie der in der Abbildung hypothetisch angedeutete *F F*, kaum vermieden werden. Was den oberen Theil der Mauern betrifft, so kann man andererseits der einheitlichen Konstruktion zur Rechten vor der Zellenbauweise zur Linken den Vorzug geben.

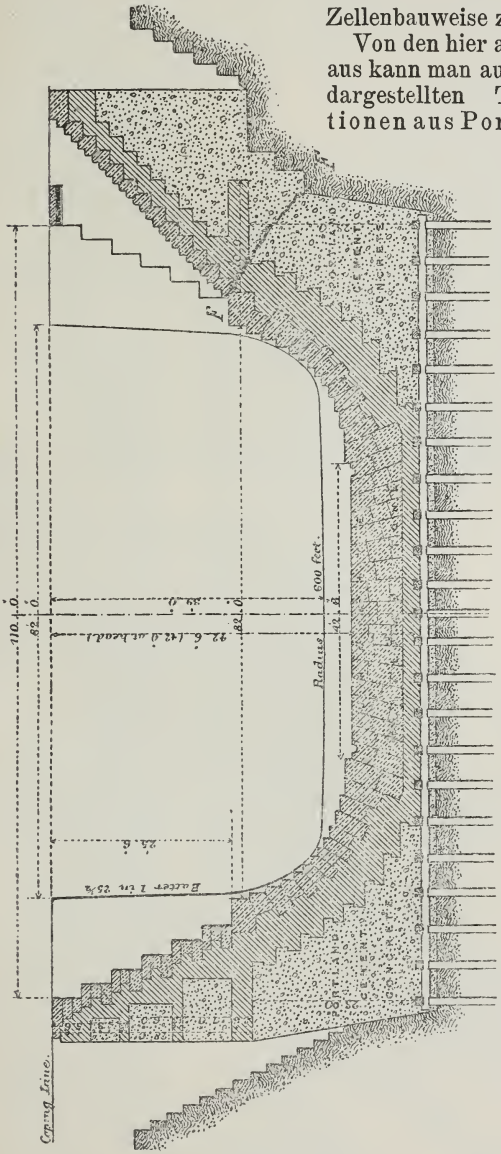


Abb. 127, Trockendocks in Portsmouth.

Von den hier angedeuteten Gesichtspunkten aus kann man auch die in den Abb. 128 u. 129 dargestellten Trockendock-Konstruktionen aus Portsmouth einer Beurtheilung unterziehen, welche im allgem. zu Gunsten derselben ausfällt. Abb. 128 stellt den Querschnitt am Eingange eines Trockendocks dar, d. h. an einer Stelle, wo das Aussenwasser eine besonders hohe Beanspruchung der Sohle auf Druck von unten hervor ruft.

c. Beton als Füllmaterial (todte Last).

Will man Beton nur als todte Last verwenden, wie dies nahezu in der (älteren) englischen Zellenbauweise von Mauern geschieht, so kann dies, mehr vortheilhaft, in der Art und Weise geschehen, welche in den nachfolgenden paar Beispielen dargestellt ist.

Abb. 130 stellt die Kaimauer am Hafen zu Geestemünde dar, deren Kern aus sogen. Sandbeton (1 Cement, 9 Sand) besteht; dieser Kern wird durch Quermauern in Abständen von je 2,7 m in Einzellängen getheilt, so dass die Mauer ein in sich standfähiges Gerüst bildet, in welchem der Beton nur als Belastungsmaterial wirkt.

In anderer Weise ist der Beton bei den Kaimauern am neuen Freihafen zu Bremen benutzt, Abb. 131. Es sind in denselben der ganzen Länge nach drei Hohlräume (Kanäle) ausgespart, von denen die beiden unteren, etwa 2 m weiten, *b b*, mit magern Beton (vergl. S. 137) gefüllt sind, während der obere *a* zur Aufnahme von verschiedenen Leitungen: Gas-, Wasser-, elek-

trischen usw. offen geblieben ist. Da der Beton gut gestampft ist, ausserdem mit grosser Sorgfalt auf den guten Zusammenschluss der trennenden Mauerrippen mit der darunter liegenden Betonschicht gehalten ward, so kann bei dieser Verwendungsweise auf eine gewisse Theilnahme der Betonfüllung an den Spannungen, die der Mauerkörper erleidet, gerechnet werden. Die Kosten von 1 cbm Beton (1 Cem. auf 10 Th. Zuschlag) stellten sich hier nur etwa 1/4 so hoch als diejenigen von Ziegelmauerwerk in Cementmörtel aufgeführt. Gebraucht wurden etwa 25000 cbm Beton, so dass bei der Ausführung eine sehr bedeutende Ersparung verwirklicht worden ist. —

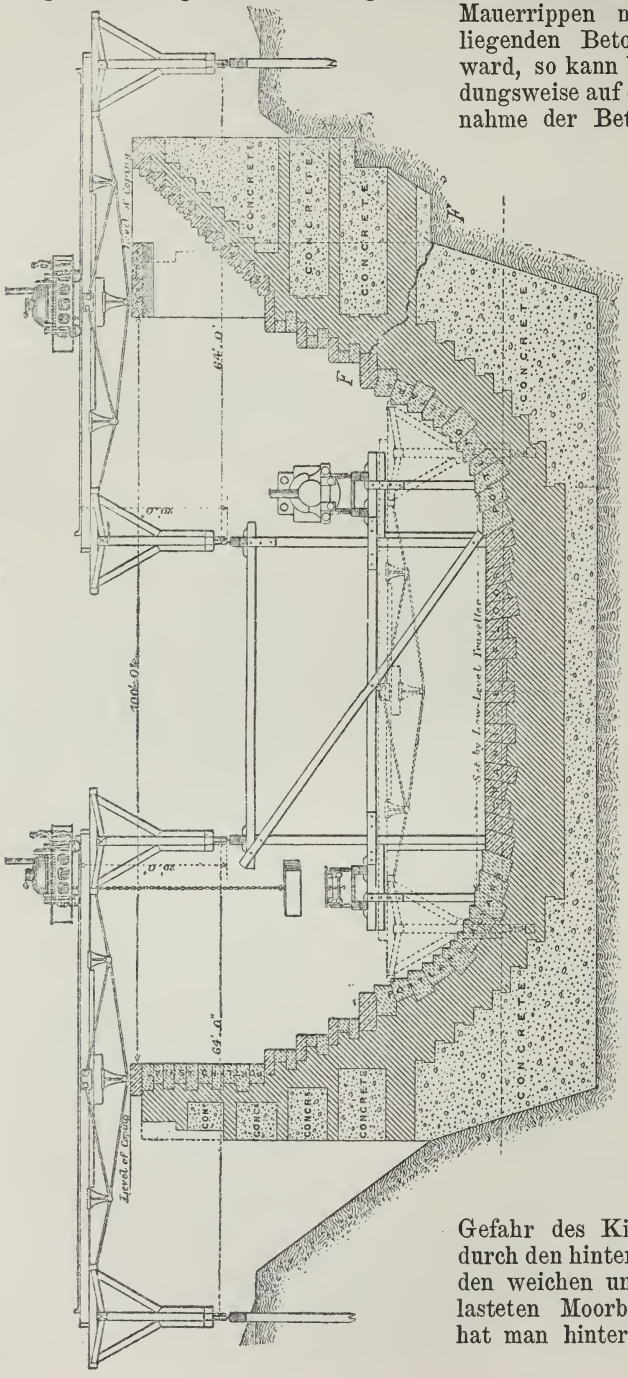


Abb. 128, Trockendocks in Portsmouth.

Theils zum Zweck der (Brunnen-) Fundirung, theils zu einer besonders wirksamen Vermehrung der Standfähigkeit eines Brücken-Widerlagers ist Beton in der in Abb. 132 u. 133 ersichtlich gemachten Weise benutzt worden: Um das Widerlager vor der Gefahr des Kippens, veranlasst durch den hinter demselben liegenden weichen und dabei stark belasteten Moorboden zu sichern, hat man hinter dem Widerlager

einen schweren Betonblock hergestellt und durch Zuganker mit dem Pfeiler in entsprechende Verbindung gebracht, so schwer, dass dem umstürzenden Momente des Moordrucks durch das Moment des Blocks das Gleichgewicht gehalten wird.

Durchaus als todte Last und ohne Spannung wirkt der Beton in dem in Abb. 134 dargestellten Landpfeiler der Red Rock-Eisenbahnbrücke über den Colorado in Amerika. Bei dieser nach dem sogen.

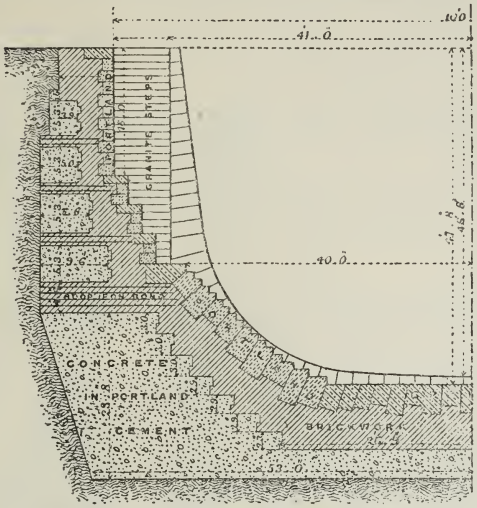
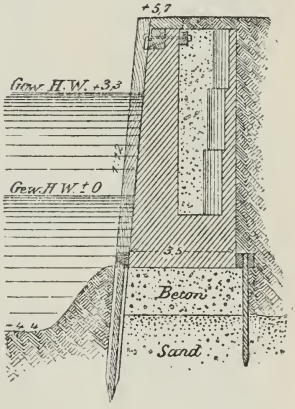


Abb. 129, Trockendock in Portsmouth.

Abb. 130, Kaimauer zu Geestemünde.



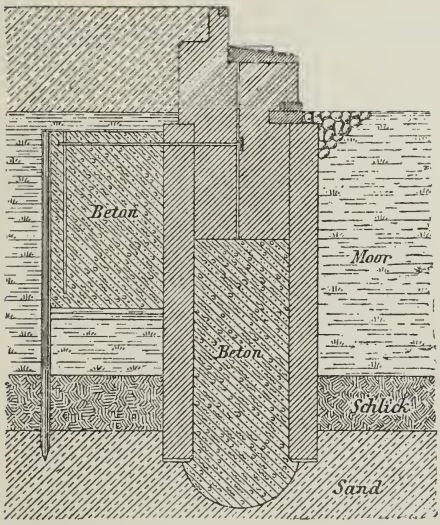


Abb. 132/133, Brückenwiderlager-Verstärkung.

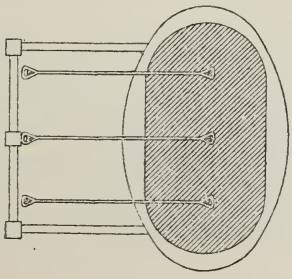
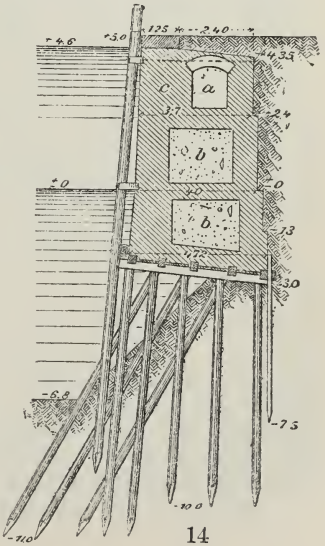
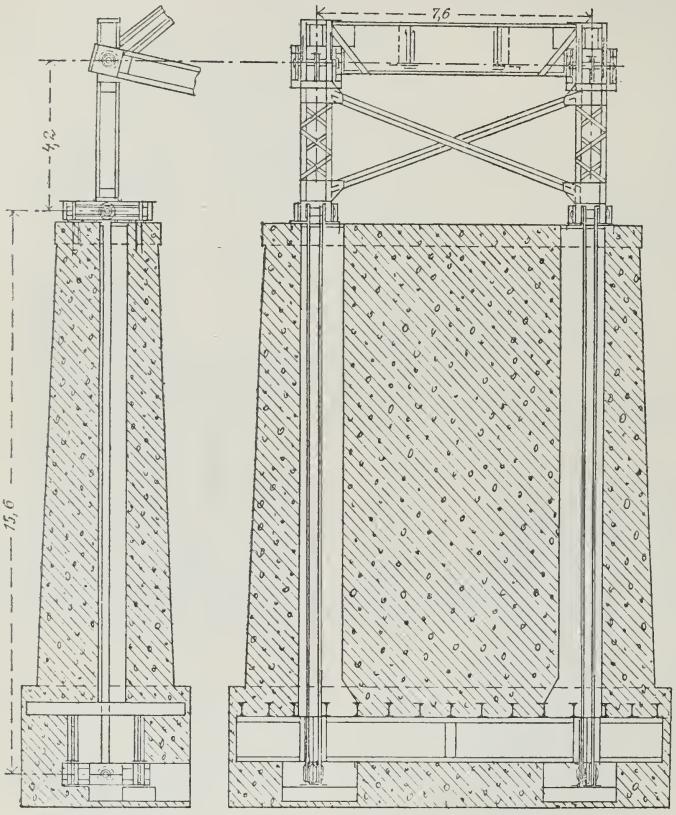


Abb. 131, Kaimauer zu Bremen.



Cantilever-System erbauten Brücke wird der Landpfeiler durch den Druck der Eisenkonstruktion nicht belastet, sondern muss, umgekehrt, beim Passiren von Bahnzügen über die Mittelöffnung als Gegengewicht wirken; er ist deshalb an dem Ende des Eisenträgers aufgehängt. Die an starken Rundeisenankern hängende Betonmasse beträgt in diesem Falle etwa 450 cbm. Diese gewaltige Last wird zunächst von 15 kleinen Eisenträgern aufgenommen, welche auf schweren eisernen Unterzügen gelagert sind, die von Rundeisenankern mittelst Gelenke gefasst werden. — Ebenfalls ausschliesslich als todte Last wird Beton zur Verankerung schwimmender Bojen im Grunde von

Abb. 134. Aufgehängter Landpfeiler der Red Rock-Eissnbahnbrücke.



Häfen, oder zur Bezeichnung des Fahrwassers in Hafenzugängen benutzt. Je nach der Grösse der Bojen und der Grösse der zu vertauenden Schiffe werden entweder am Lande schwere Betonblöcke geformt, oder es wird der Beton an der betreffenden Stelle je nach Umständen mittelst Trocken- oder Nass-Schüttung eingebracht.

Als blosse todte Masse findet Beton endlich zweckmässige Anwendung zu Maschinen- und Dampfhammer-Fundamenten, wo es sich um die Aufnahme von Stössen handelt (vergl. S. 190). Was die Maschinen-Fundamente betrifft, so ist Betonbau um so zweckmässiger, je verwickelter die Form solcher Fundamente ist und je mehr Ankerbolzen erfordert werden, insbesondere wenn diese stets zugänglich sein oder zum nachträglichen Einsetzen eingerichtet sein müssen. Die Eintheiligkeit der Masse, gegenüber dem aus zahlreichen Stücken bestehenden Quader- oder Ziegelbau, bildet einen das Betonfundament empfehlenden Umstand. Die Abb. 135—143 zeigen ein paar betr. Ausführungen.

Abb. 135—140 stellen das Dampfmaschinen-Fundament in der Mecha-

nischen Flachsspinnerei von Meyer & Co. in Wiesenbad i. S. dar, welches 340 cbm Stampfbeton enthält und im Jahre 1884 in der kurzen Zeit vom 25. Februar bis 24. März hergestellt ist.

Abb. 135—140, Dampfmaschinen-Fundament zu Wiesenbad i. S.

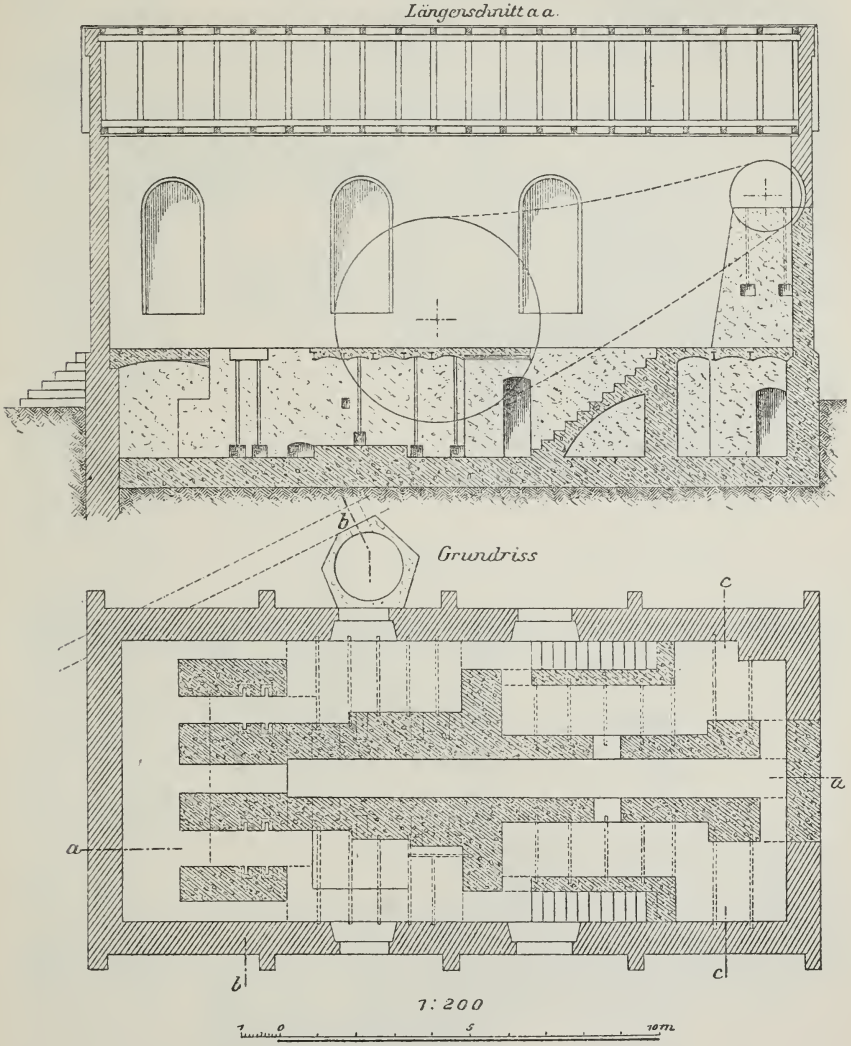


Abb. 141—143 stellen das im Jahre 1885 ausgeführte Dampfmaschinen-Fundament in der München-Dachauer Papierfabrik zu Dachau dar, in welcher auch die Decken und Fussböden aus Beton hergestellt sind.

Beide genannten Ausführungen sind von der Firma Thormann & Schneller in Augsburg bewirkt.

d. Einige besondere Ausführungen in Beton.

Von der Stadtgemeinde Ulm sind die Landpfeiler und Stützmauern für die 42,56 m weite eiserne Brücke in der Neuthor-Strasse am Bahnhof Ulm ganz in Beton hergestellt worden. Die Ausführung ist in den Abb. 144 bis 147 vorgeführt.

Abb. 137.

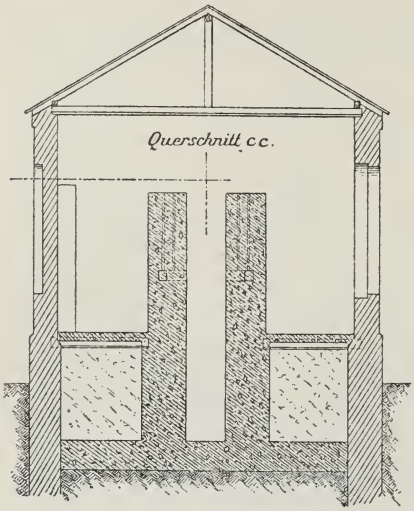


Abb. 139.

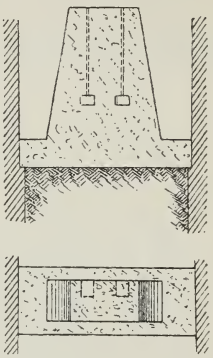
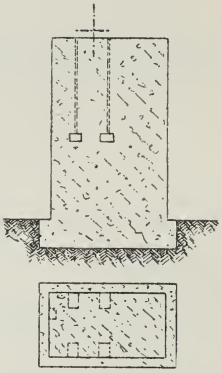


Abb. 140.



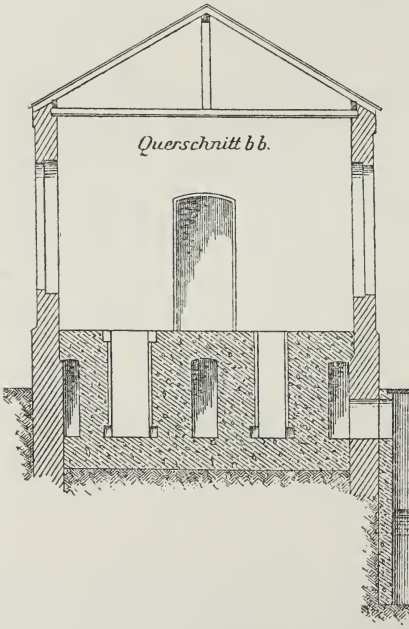


Abb. 138.

Die Fundamente wurden aus Romancement-Beton der Mischung 1 : 1 : 3,5 hergestellt; 1 cbm Beton kostete 9 M. Zu den Landpfeilern nebst Flügeln und Stützmauern wurde Portlandcement-Beton der Mischung 1 : 2 : 6 benutzt, wovon 1 cbm 20 M. kostete.

Die Abdeckungsquader, welche in Formkästen in der Mischung 1 : 4 hergestellt wurden, stellten sich frei Baustelle auf 35 M. 1 cbm.

Für die Behandlung der sichtbaren Flächen war bedungen, dass mit der hinterliegenden Masse eine 10 bis 15 cm starke Schicht aus 1 Cement zu 6 vollständig reinem erbsengrossen Kies einzubringen sei. Es zeigten sich bei der Ausschalung Unregelmässigkeiten in der Fläche, welche aber leicht durch Aufbringen eines Mörtelanwurfs beseitigt werden konnten.

Im ganzen sind zu der Ausführung 420 cbm Romancement-Beton, 560 cbm

Abb. 141—143, Dampfmaschinen-Fundament zu Dachau.

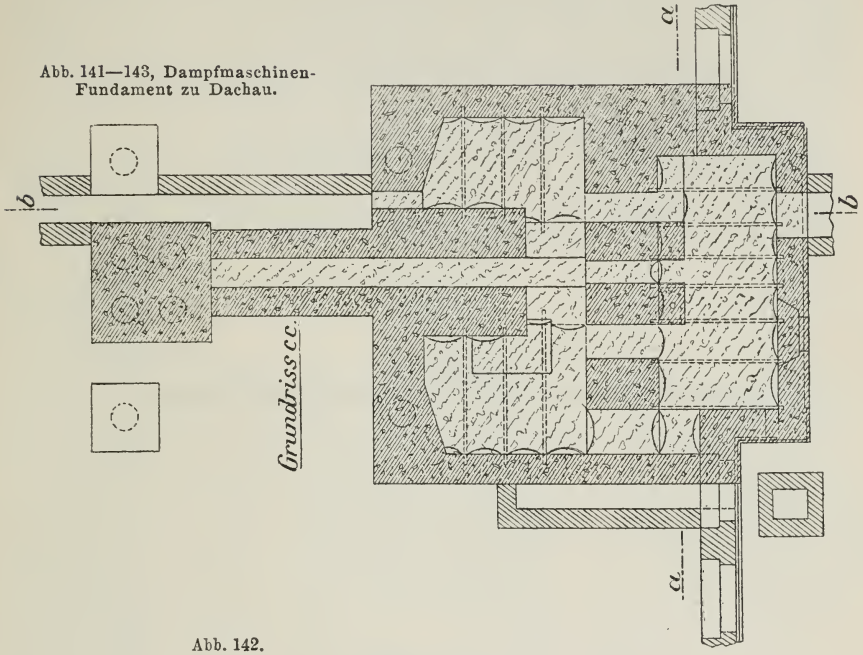
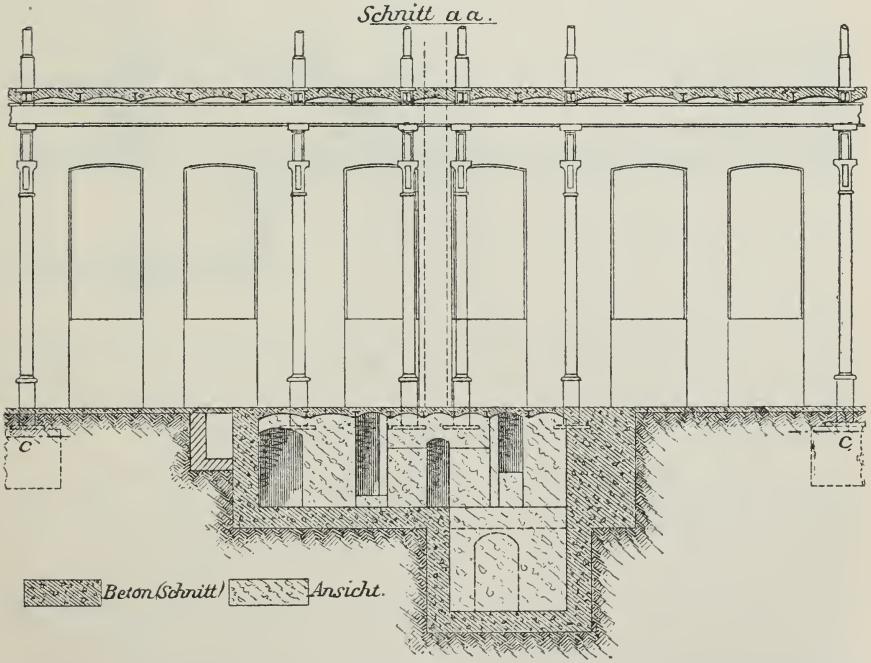


Abb. 142.



Portlandcement-Beton und 30 cbm Deckquader aus Beton erforderlich gewesen und haben die Kosten rund 18 000 Mk. betragen.

Die Abb. 148—156 gehören einer Gruppe von besonderen Ausführungen zu Zwecken des Wasserbaues an. Den Konstruktionen Abb. 148—151 ist gemeinsam, dass der Beton darin mehr als Hülfs- denn als Hauptmaterial verwendet erscheint, indem er die eigentliche Trageform einhüllt. Wahrscheinlich ist ihm als Aufgabe auch der Schutz gegen Wasserzudrang von aussen zugewiesen, bei dem eisengefütterten Tunnel durch die Thalsperre des Beckens für die Wasserwerke von Bradford, Abb. 148, auch ein gewisser Schutz gegen Rosten der Aussenseite der Eisenauskleidung. Dieser Tunnel liegt unter einem Erddamm von 18 m Höhe, hat also auch beträchtlichem Druck von aussen zu widerstehen selbst dann, wenn der Damm unbeweglich wäre — was bekanntlich niemals der Fall ist.

Abb. 143.

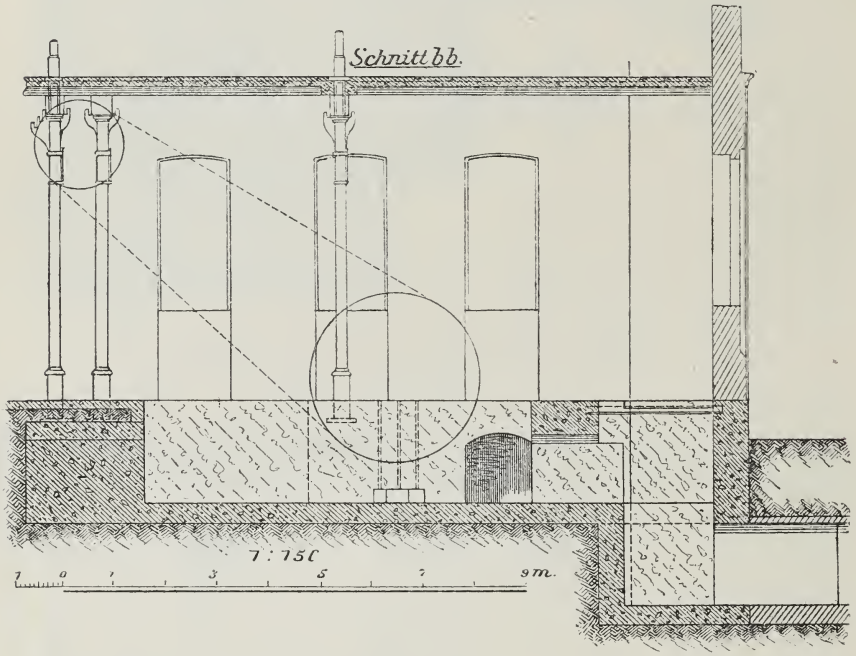


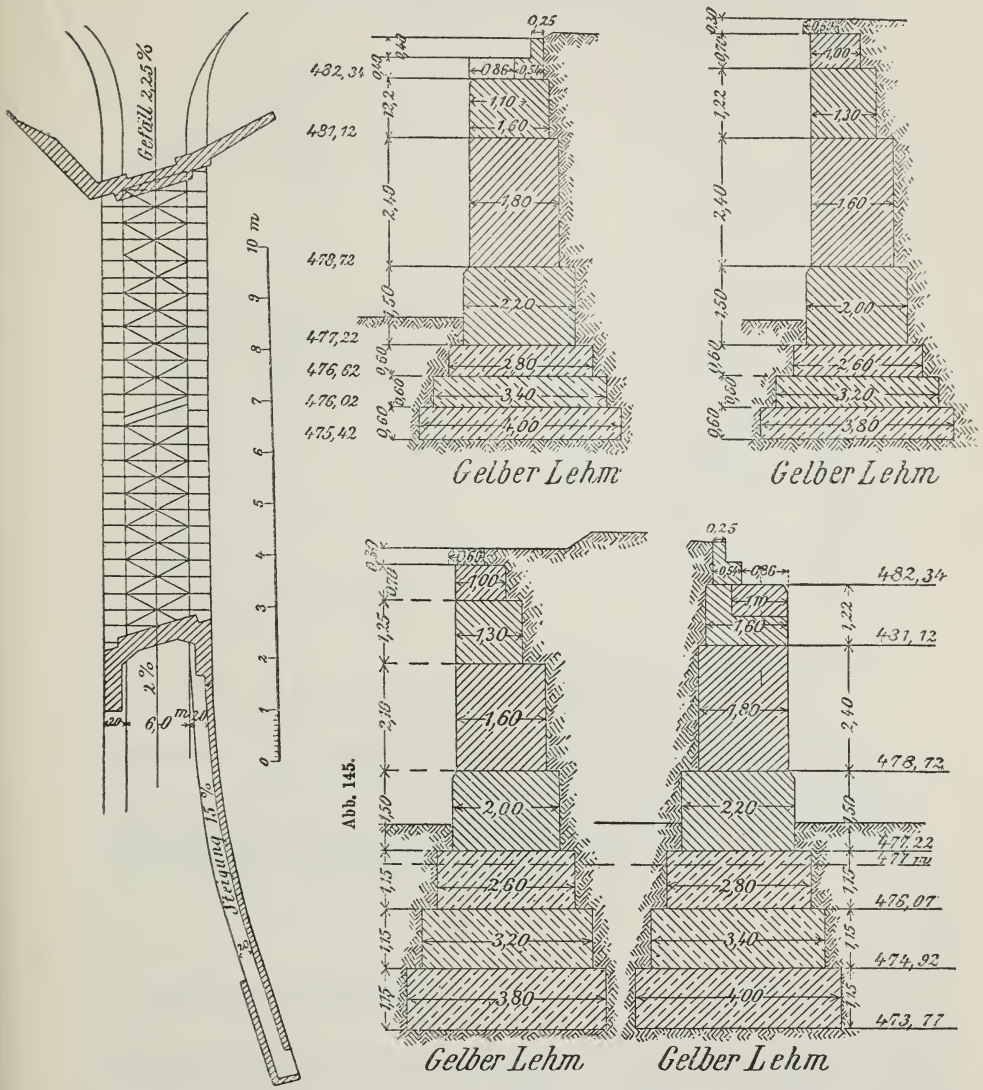
Abb. 149 zeigt einen, für die Aufnahme der verschiedenen Rohrleitungen (Wasser, Druckwasser, Druckluft, Gas usw.) im Dockyard zu Chatham eingerichteten Rohrkanal, in dessen Widerlagern Rohre für Entwässerungszwecke angelegt sind. Eine grosse Anzahl von Leitungen ist hier in zweckmässiger Weise auf engsten Raum zusammen gedrängt.

Abb. 150 stellt einen zu Entwässerungs- und sonstigen Zwecken angelegten Doppelkanal englischer Konstruktion dar, Abb. 151 endlich die Füllkanäle der Trockendocks im Dockyard zu Chatham, welche sehr tief liegen und deshalb eine besonders solide Ausführung erforderten.

Die vorgeführten Abbildungen enthalten Beweise, welch' besondere Werthschätzung man in England den Betonkonstruktionen beilegt. Vorwiegend dürften den dargestellten Konstruktionen Ersparniss-Rücksichten zu Grunde liegen.

Abb. 152—156 giebt einige Darstellungen eines Rohrkanals in dem Fabrikhofe der Mechanischen Bindfadenfabrik Immenstadt in Bayern. Bei solch verwickelten Formen wie diesen, welche die Ausführung in Mauerwerk sehr vertheuern, tritt die Eignung des Betons ganz besonders hervor;

Abb. 144—147, Brücke mit Betonwiderlagern in der Neuthorstrasse zu Ulm.



es gilt dies ebenfalls für die nachfolgend mitgetheilten, von der Firma Thormann & Schneller in Augsburg hergestellten Gerinne für Wasserräder und Turbinen.

Abb. 157. Gerinne nebst Eiskanal für ein oberschlägiges Wasserrad für die Mechanische Wollspinnerei und -Weberei zu Kaufbeuren,

im Jahre 1882 erbaut. Bei 180 cbm Betonmasse erfolgte die Fertigstellung in der Dauer von nur 4 Wochen.

Abb. 158. Turbinengerinne für die Maschinen-Fabrik von N. F. Stumbeck in Rosenheim.

Abb. 147.

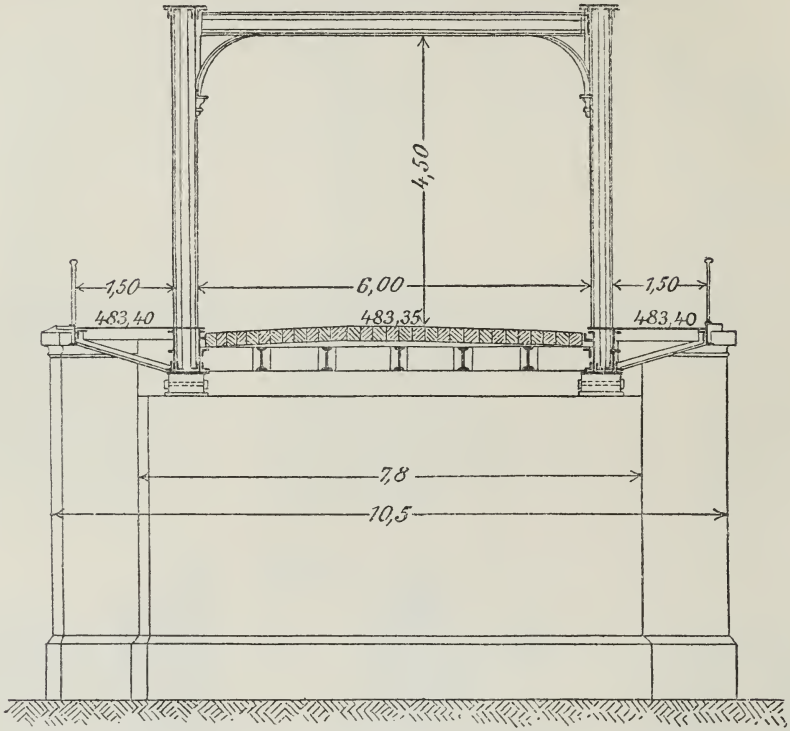


Abb. 148, Tunnel durch eine Thalsperre der Wasserwerke von Bradford.

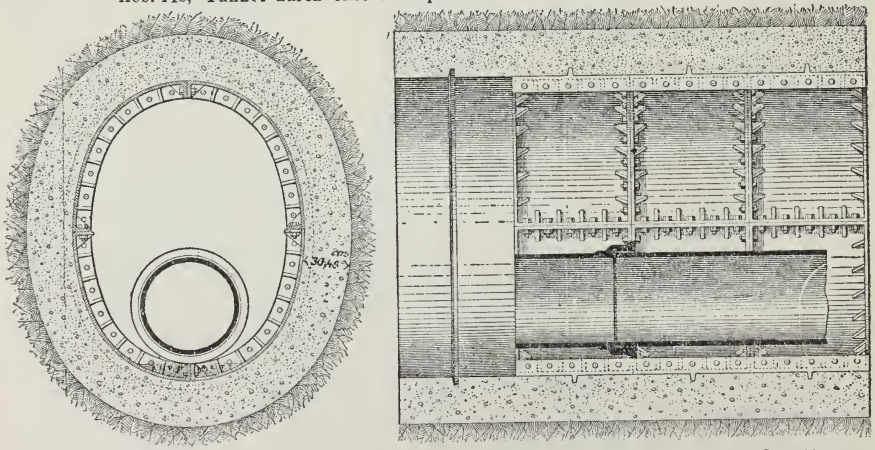
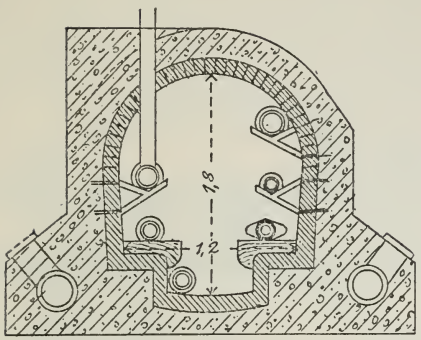


Abb. 159—160 desgl. Turbinengerinne für die Maschinenfabrik von A. L. Riedinger in Augsburg. Der Bau enthält etwa 360 cbm Beton und musste in der kurzen Zeit von 16 Tagen (13.—29. April 1884) fertig gestellt werden.

Abb. 149—150, Rohr- usw. Kanäle in Chatham Dockyard.



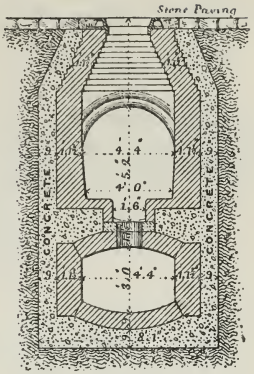
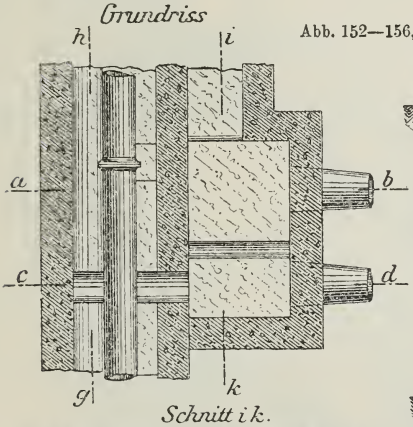
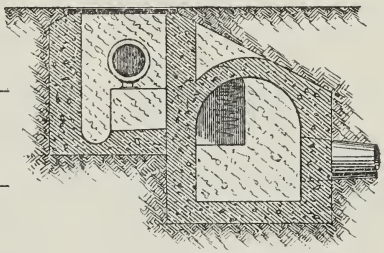


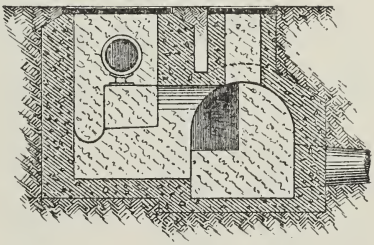
Abb. 152—156, Rohrkanal für eine Fabrik in Immenstadt.



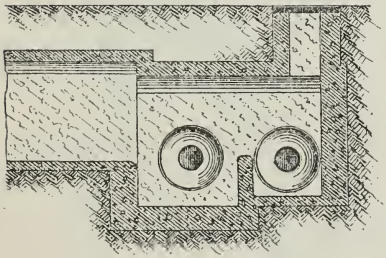
Schnitt a b.



Schnitt c d.



Schnitt i k.



Schnitt g h.

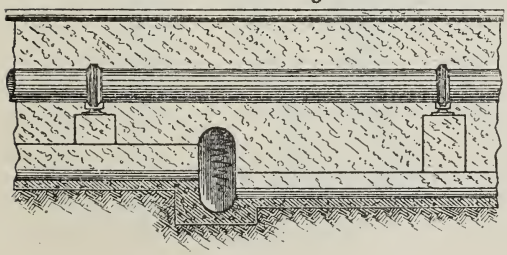


Abb. 151, Füllkanäle der Trockendocks in Chatham Dockyard.

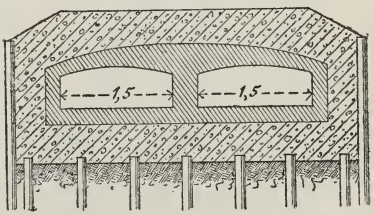


Abb. 161 desgl. Turbinengerinne für die Fabrik von Lotzbeck & Co. zu Augsburg, hergestellt in der Zeit vom 5.—18. Oktober 1884.

Abb. 157, Gerinne und Eiskanal für ein oberschlägiges Wasserrad zu Kaufbeuren.

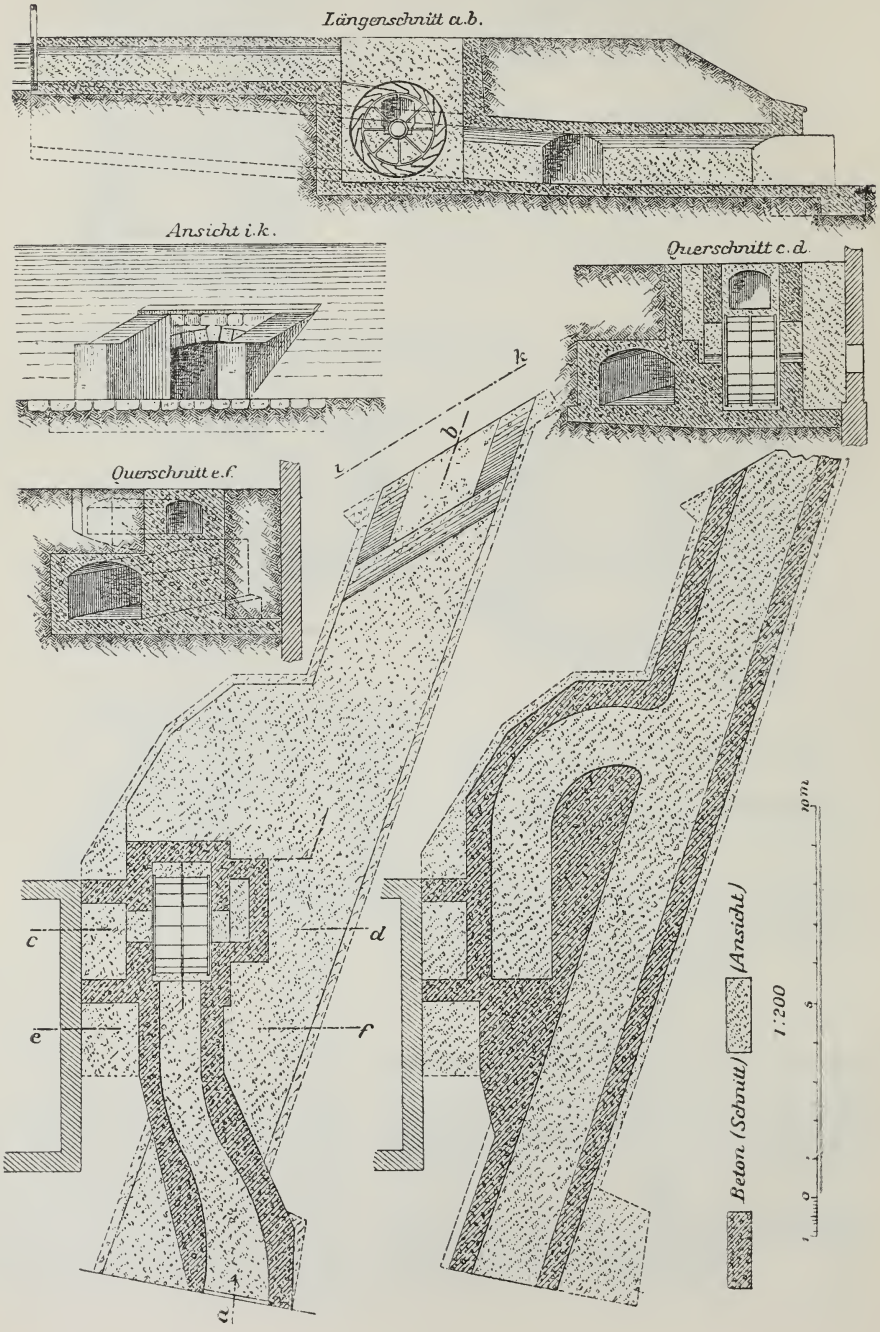


Abb. 162—163 Turbinengerinne für die Bleich- und Appretur-Anstalt von G. Kaess in Hauenstetten. Der Bau enthält 530 cbm Beton; die Herstellung wurde in der sehr kurzen Zeit von 23 Tagen (22. Juni bis 15. Juli 1883) bewirkt. Die Ausführung war durch besonders grossen Wasserzudrang sehr gehemmt. Das Bauwerk hat schwere Eisgänge auszuhalten, welche demselben indessen bisher keinerlei Schaden zugefügt haben.

Abb. 158, Turbinen-Gerinne in Rosenheim.

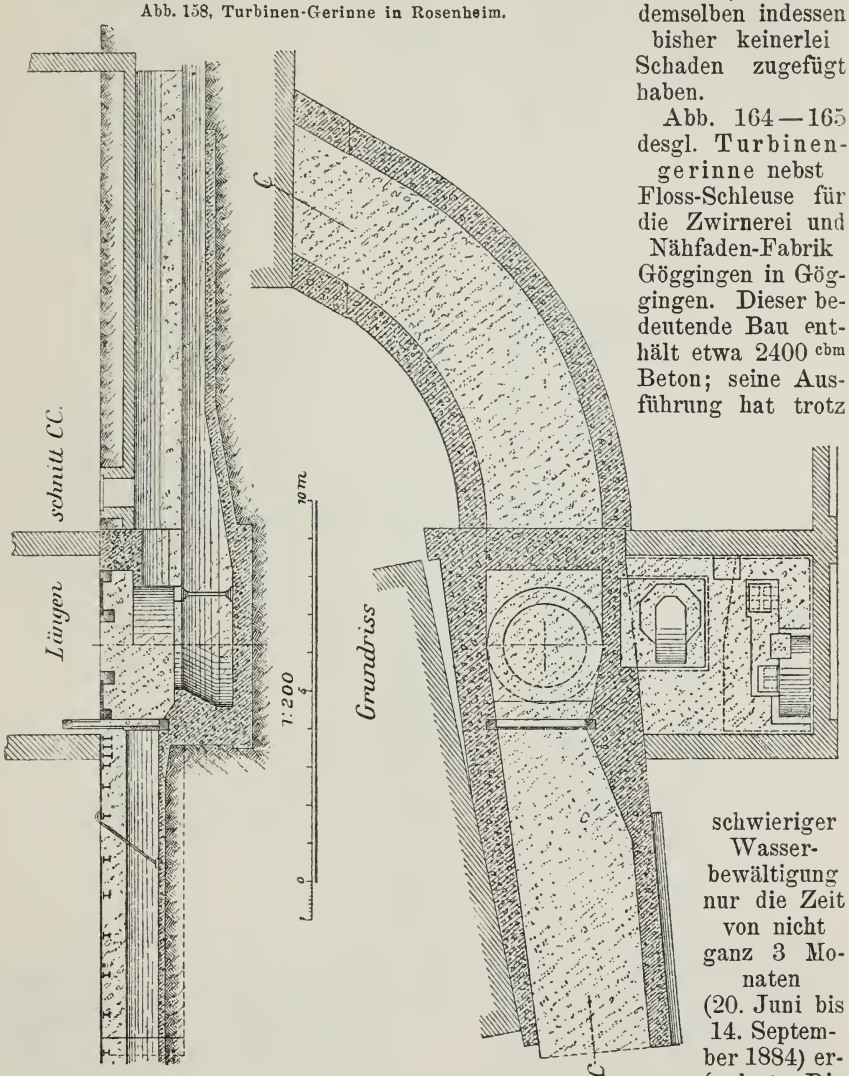


Abb. 164—165 desgl. Turbinengerinne nebst Floss-Schleuse für die Zwirnerei und Nähfaden-Fabrik Göggingen in Göggingen. Dieser bedeutende Bau enthält etwa 2400 cbm Beton; seine Ausführung hat trotz schwieriger Wasserbewältigung nur die Zeit von nicht ganz 3 Monaten (20. Juni bis 14. September 1884) erfordert. Die Floss-Schleuse dient dem Betriebe der Flossfahrt im Kanal bei Kleinwasserstand des Wertach-Flusses. Die frei liegenden Flächen des Betonbaues sind in kräftiger Quaderung, Gesimsen usw. gehalten.

Abb. 166—168 stellen zwei, von der preussischen Staatsbauverwaltung vor einigen Jahren ausgeführte Wasserbau-Werke dar, welche auf

Alb. 159—160, Turbinen-Gerinne für die Fabrik von A. L. Riedinger in Augsburg.

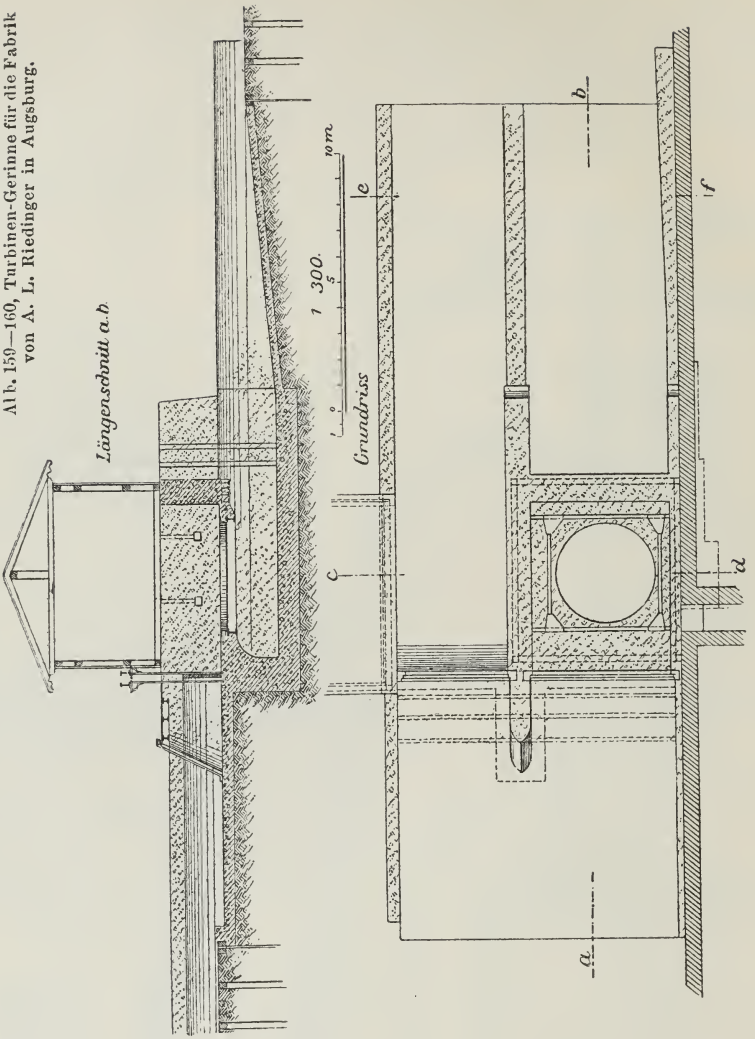
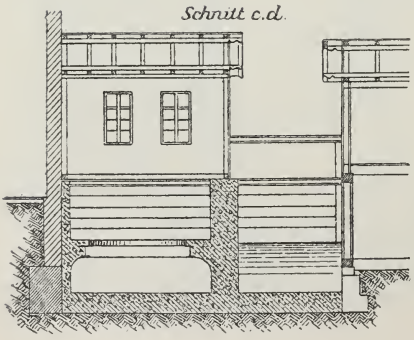
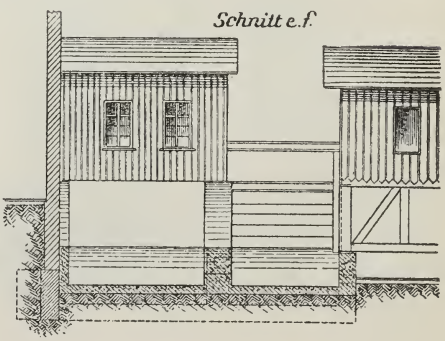


Abb. 160.





Beton fundirt worden sind, und zwar Abb. 166 einen Längenschnitt des bei

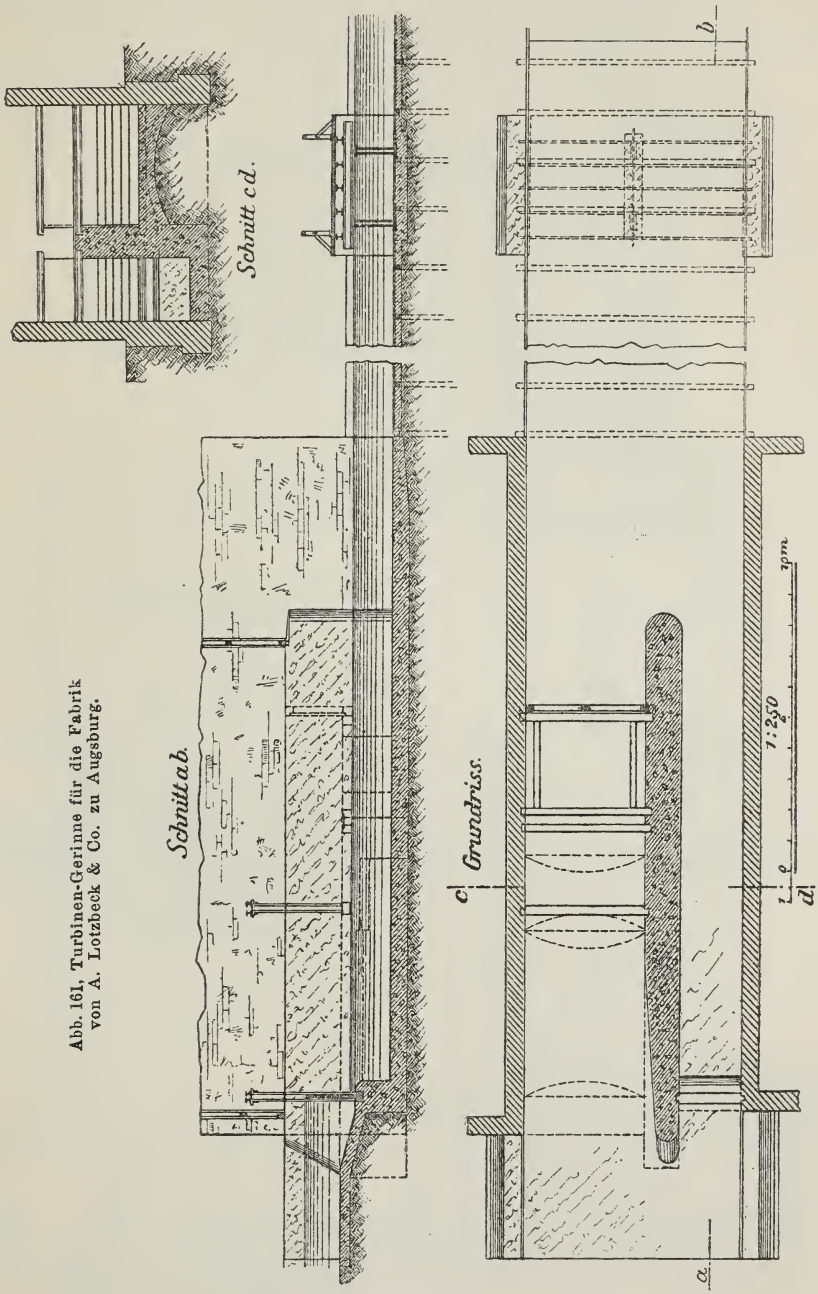


Abb. 161. Turbinen-Gerinne für die Fabrik von A. Lotzbeck & Co. zu Augsburg.

Charlottenburg in der Spree erbauten Wehres, das rechter Seits als sogen. Trommelwehr, im übrigen als Nadelwehr ausgeführt ist. Zum

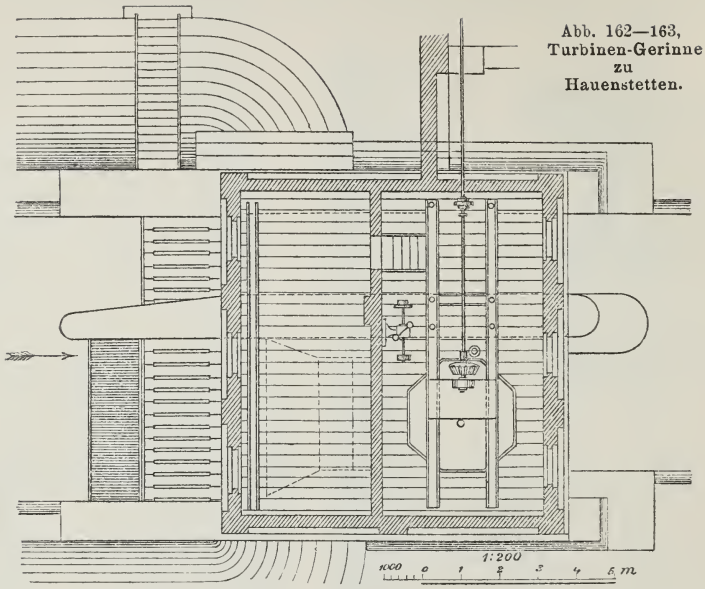


Abb. 162—163, Turbinen-Gerinne zu Hauenstetten.

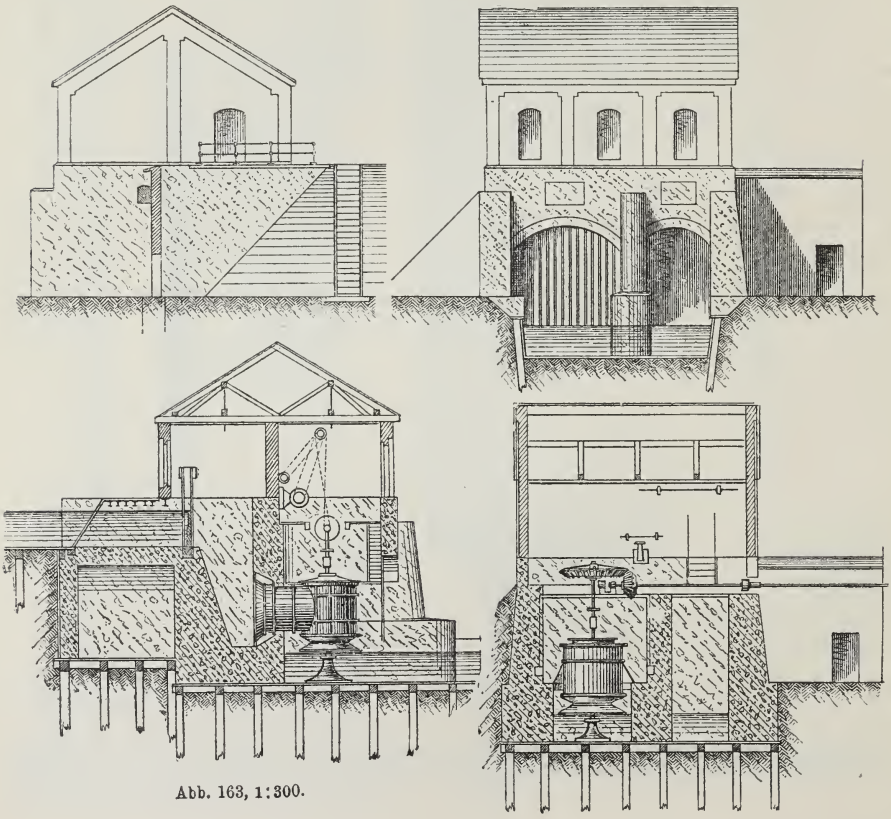


Abb. 163, 1:300.

Uebergang über das Trommelwehr dient eine eiserne Brücke, deren Tafel aus Wellblech mit Betonbeschüttung hergestellt ist. Abb. 167 giebt die Detail-Abbildung dazu; die Treppenstufen haben Holzbelag

In sehr ähnlicher Weise sind die 5 Wehranlagen in der kanalisirten Mainstrecke zwischen Frankfurt und Mainz erbaut worden.

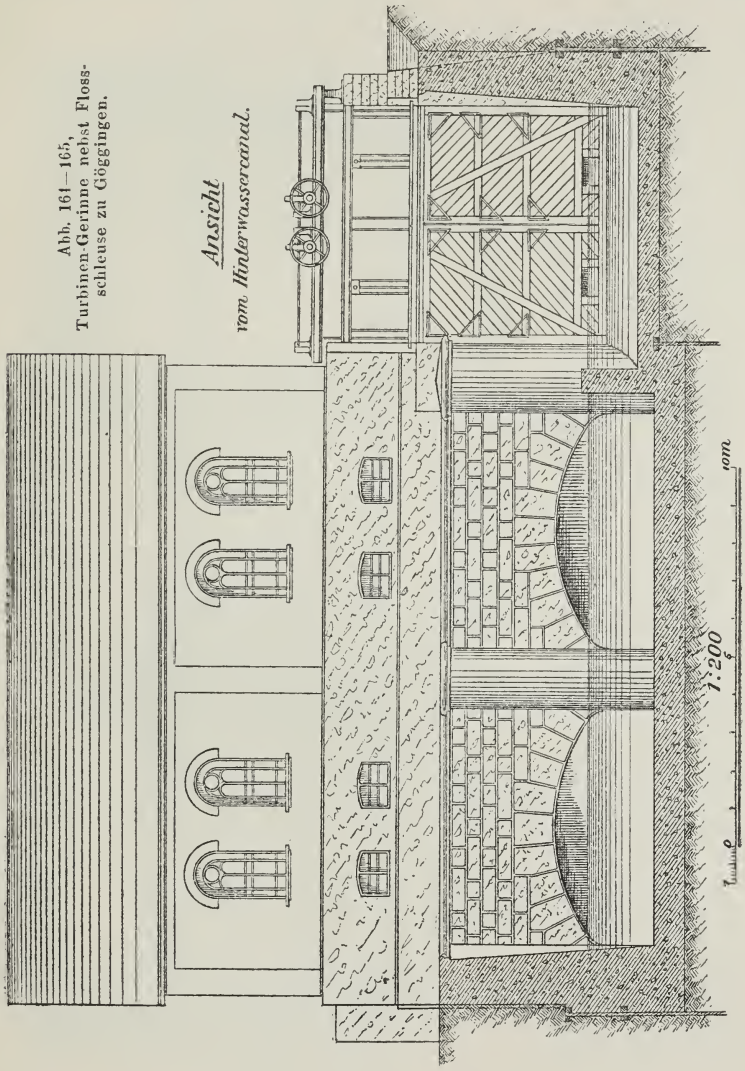


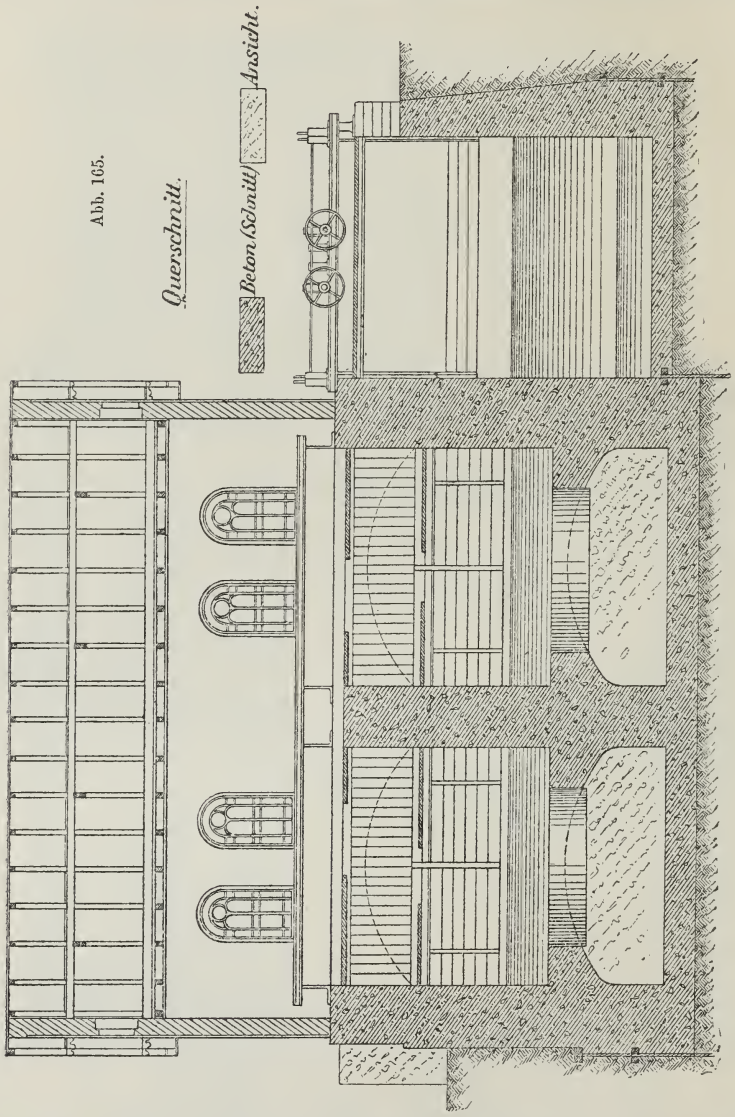
Abb. 161—165, Turbinen-Gerinne nebst Flossschleuse zu Göggingen.

Abb. 168 stellt zwei Querschnitte der in der kanalisirten Lahn erbauten Schleusen dar. Das Beton-Fundament ist zu den Seiten in die Höhe gezogen, um vorübergehend als Fangedamm benutzt zu werden.

Abb. 169 stellt den Typus von neuern Uferdeckwerken an der Unterelbe dar. Auf eine Schüttung aus Kies werden Betonquader mit mög-

lichst enger Fugenweite verlegt. Bei den Werken nach älterer Konstruktion, wie man sie an der Unterelbe ausführte überpflasterte man die Kiesschüttung mit unregelmässig geformten Steinen, durch deren weite Zwischenräume und Fugen ein lebhafter Wasserstrom ging, was dazu nöthigte, die Unterlage sehr stark zu machen. Die Deckwerke nach dem neuern Typus bedürfen

Abb. 165.



nur einer schwachen Unterlage und stellen sich dieserwegen, sowie der geringeren Reparaturen wegen, um etwa die Hälfte billiger als die der ältern Art.

Nach Abb. 170 sind zu Berlin am Spreeflusse und am Landwehrkanal Uferdeckwerke auf Betonfundirung hergestellt; die Unterlage der eigentlichen Uferdeckung wird von einer Schicht Ziegelbrocken gebildet.

e. Molen und Wellenbrecher.

Wellenbrecher- und Molenbauten an offener Seeküste sind Bauwerke, deren Herstellung mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft ist, und die im fertigen Zustande heftigen Angriffen der Atmosphärilien, des Wellenschlags, sowie mechanischen Angriffen durch Anstossen der Schiffe usw. zu widerstehen haben. Der niemals ruhende Druck der Wellen, in Verbindung mit den regelmässigen Hebungen und Senkungen des Werks, die das Spiel der Gezeiten mit sich bringt, ist es, wogegen mit besonderer Vorsicht vorgekehrt werden muss. Der Wellendruck darf weder zu dem Kern des Werks Zutritt gewinnen, noch im Stande sein, die frei liegenden Flächen erheblich anzugreifen. Dazu sind sorgfältiger Fugenschluss — bezw. Verminderung der Fugenzahl — und Verwendung von Beton von besonderer Dichte in den frei liegenden Flächen erforderlich. Indem man vereinzelt beiden Punkten nicht die nöthige Beachtung zugewendet hat, sind Fehlschläge bei Betonbauten eingetreten, welche sich hätten vermeiden lassen. Das neueste Beispiel dazu bieten die Hafenwerke von Aberdeen, bezüglich deren einige Bemerkungen bereits auf S. 139 gemacht worden sind, auf welche hier Bezug genommen wird.

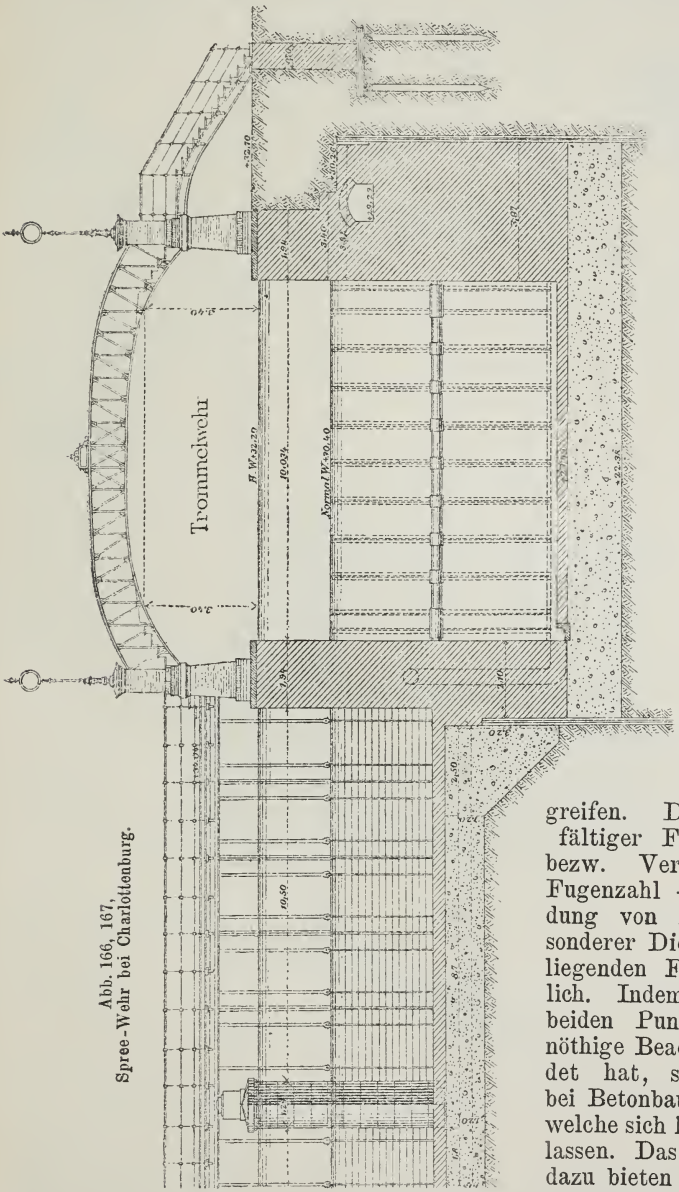


Abb. 166, 167.
Spree-Wehr bei Charlottenburg.

Gegen das Vordringen von Wasser zum inneren Kern wird diejenige Ausführungsweise die grössere Sicherheit bieten, welche die kleinste Fugenzahl hat. Dies ist die — fugenlose — Schüttung, der auch noch ein weiterer empfehlender Grund darin zur Seite steht, dass sie als ungetheilte Masse wirkt, daher theoretisch in ihrer Leistung als „todte Masse" unübertreffbar ist. Die Unverlässlichkeit der Schüttungen, was Dichte betrifft,

Abb. 170, Uferdeckwerk am Landwehr-Kanal zu Berlin.

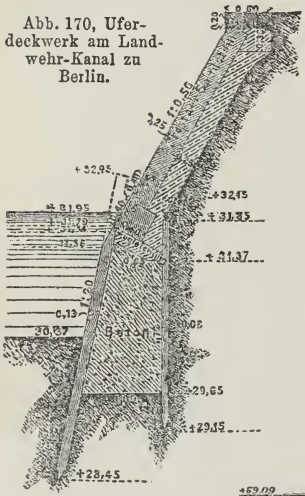


Abb. 167.

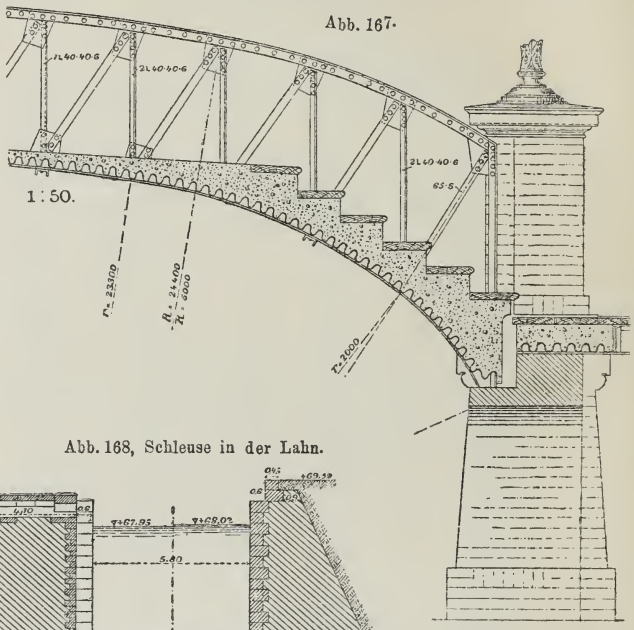


Abb. 168, Schleuse in der Lahn.

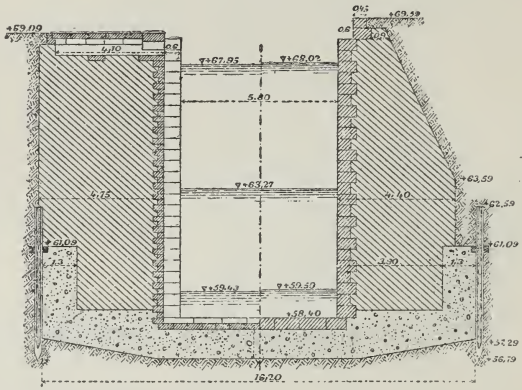
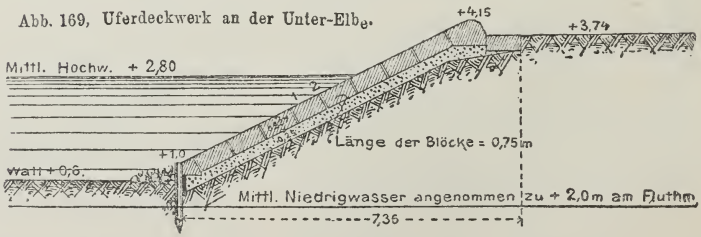


Abb. 169, Uferdeckwerk an der Unter-Elbe.



ist indessen schon früher (S. 105 ff.) dargelegt, und was die Vermeidung von Fugen und Trennungen betrifft, so kann bei dem „Arbeiten" des Betons und bei dem Spiel lebendiger Kräfte, denen er in Werken der hier fraglichen Art unterworfen ist, an derartiges nicht gedacht werden, da schon die Verschiedenheiten von Temperatur und Feuchtigkeit, welche an verschiedenen Stellen in der Masse stattfinden, Brüche hervor rufen müssen.

Deshalb wird neuerdings auch von dem Versuche, in solchen Fällen „fugenlose" Schüttungen herzustellen, Abstand genommen und nur dahin gestrebt, den unvermeidlich eintretenden Brüchen bestimmte Lagen anzuweisen. Es werden in der Schüttung durch Einlegen von Brettern in passenden Abständen senkrechte Fugen geschaffen, wobei die kleinere Fugenzahl im unter Wasser liegenden Theil der Masse, die grössere im obern, dem Wechsel von Temperatur und Feuchtigkeit unterworfenen Theil erforderlich ist. Bei englischen Werken hat man die Fugen in der Tiefe mit Abständen von 10—13 m, welche oben bis auf 3 m herab gehen, angeordnet. Es ist wichtig, dass die Fugen schon gleich zu Anfang vorhanden sind, wo der Beton am stärksten arbeitet; die Massen können sich dann zurecht schieben und werden wahrscheinlich auch die günstigsten Lagen, was ihre Wirksamkeit dem Wellendruck gegenüber betrifft, selbstthätig annehmen.

Unrichtiger noch als das Hinausgehen auf Schaffung ungetheilter Schüttungen ist es, Blockmauern mit einer ungetheilten Schicht von Beton (capping) abzudecken, da der unvermeidbaren Ursache von Trennungen hier noch diejenige der nicht festen Lage der Blöcke in den unteren Schichten hinzu tritt. Auch solche Abdeckungsmassen soll man von vorn herein passend theilen.

Während früher Blockbauten ausnahmslos in der Weise gewöhnlicher Quaderbauten, d. h. mit wagrechten und senkrechten Fugen hergestellt worden sind, ist man in neuerer Zeit von dieser Bauweise mehrfach abgegangen, indem man die Blöcke mit geneigter — lehnender — Stellung versetzt hat. Es bietet diese Stellung der Blöcke insbesondere den Vortheil, dass jeder Block sich selbstthätig fest lagern kann, indem er unter gegenseitigem Abschleifen der Rauhheiten in den Berührungsflächen so lange sinkt, als dazu die Möglichkeit vorhanden ist und dass der Block auf seiner ganzen Höhe unterstützt ist, wogegen in den wagrechten Lagerfugen die Unterstützung mangelhaft sein kann. Ferner ist die Lehnung insofern günstig, als die in die Fugen eingetriebene Luft nach oben bequem wieder einen Ausweg findet. Endlich ist, wie sich ohne weiteres ergiebt, das Versetzen geneigt stehender Blöcke viel leichter, als die Versetzarbeit bei Anordnung wagrechter Schichten.

Ausser der Verwendung von Blöcken zu regelmässiger Aufeinanderschichtung oder lehnender Stellung werden dieselben vielfach als sogen. „verlorene" Blöcke an der Aussenseite von Wellenbrechern und Molen verstürzt zu dem doppelten Zwecke, um Unterwaschungen des Bauwerks zu verhindern und um den Anprall der Wellen zu mildern. Auf solche Weise geschützte Wellenbrecher und Molen können schwächer konstruirt werden, als die ungeschützt liegenden. Blockschüttungen dieser Art sind besonders häufig in französischen Häfen angewendet, weniger oft in englischen; doch scheinen dieselben in neuerer Zeit auch hier in Aufnahme zu kommen. An Stelle eigentlicher Blöcke verwenden die englischen Ingenieure zuweilen Sackblöcke.

Uebrigens treten in der Konstruktion von Molen und Wellenbrechern gewisse nationale Eigenthümlichkeiten auf. Bei den Franzosen herrscht die Steinschüttung mit darauf gestelltem Blockbau. Bei den Engländern kommt Steinschüttung als Grundlage nur vereinzelt vor, vielfach Gründung mit Sackblöcken und im übrigen sowohl Blockbau als Schüttung. Die Amerikaner verwenden mit Vorliebe den sogen. Steinkistenbau, bei welchem mit Steine gefüllte Kisten versenkt oder zwischen hoch abgeschnittenen Pfählen Steine geschüttet werden. Mit Abweichungen in den Einzelheiten ist letztere Bauweise auch in deutschen Häfen üblich.

Die beiden, je etwa 1500 m langen bis 9,4 m unter Hochwasser-

spiegel reichenden Molen des Hafens von Ymuyden sind nach dem Profil, Abb. 171—175, auf einer Schüttung von Bruchsteinen hergestellt. Die Verstürzung von Blöcken hinter den Molen war anfänglich nicht geplant; man sah sich zu derselben schon während des Baues, als Unterspülungen eintraten, genöthigt. Die Blöcke in den obersten 4 Lagen sind in der Weise, wie die Abb. 172, 173 zeigen, unter einander verklammert. Als Abdeckung

Abb. 171—175, Molen zu Ymuyden.

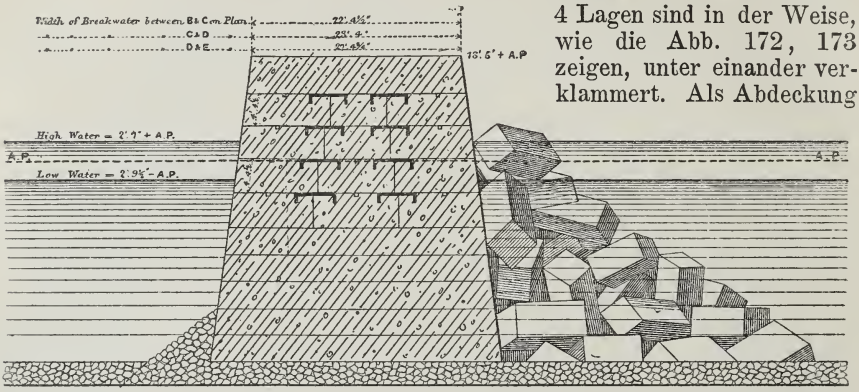


Abb. 172.

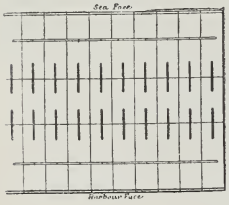
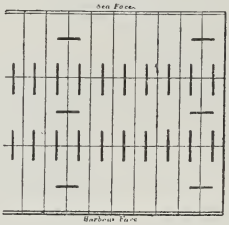


Abb. 173.



ist eine eintheilige Schicht aufgebracht, welche auch mit der aufgesetzten Brustwehr von etwa 1,5 m Dicke und Höhe ein Ganzes bildet und insgesammt 23 000 cbm Beton enthält. Die Abbildungen, 174 und 175, geben die Zuführungs- und Versetzvorrichtungen für die Blöcke an; das Gerüst steht auf hölzernen Pfählen, welche mit Schrauben im Boden befestigt sind. Grösse der Blöcke reichlich 5 cbm und Mischung 1 : 4 : 5 sind (nebst Anderem) bereits Seite 151 mitgetheilt.

Abb. 174.

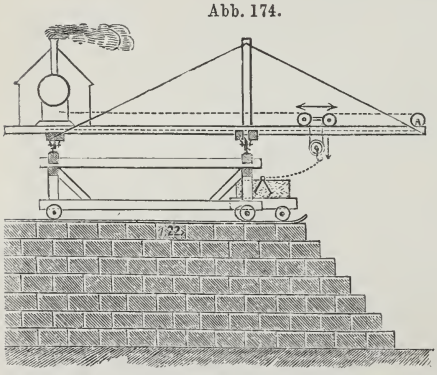


Abb. 175.

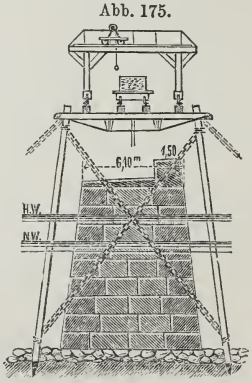
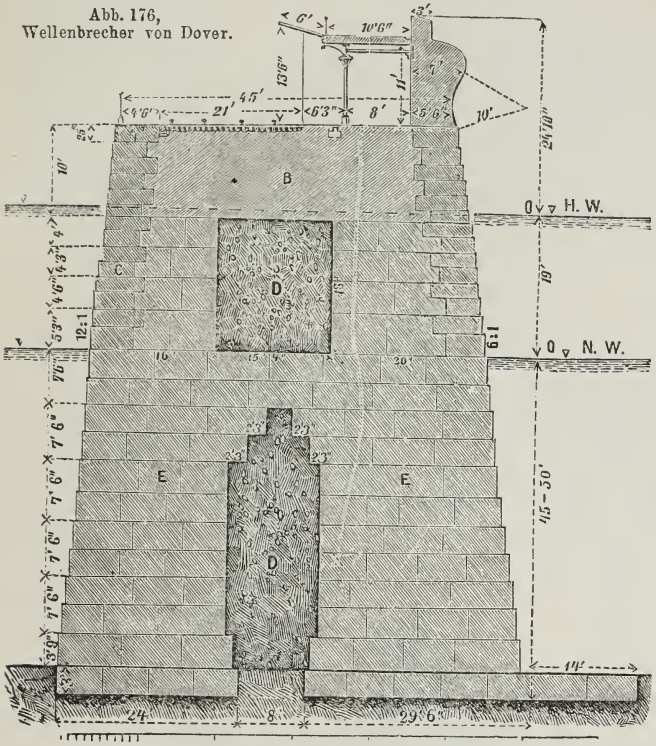


Abb. 176 zeigt den Querschnitt des etwa 900 m langen Wellenbrechers von Dover, eines der grossartigsten Beispiele seiner Art. Derselbe besteht bis zur Höhe der Niedrig-Wasser-Linie aus Betonblöcken in Höhen, welche von etwa 1,2 m unten bis oben auf die Hälfte abnehmen. Auch die mächtige Schutzwehr auf der Rückseite ist aus Beton hergestellt. Die grösste Höhe, die Brüstungshöhe eingerechnet, ist 28 m, die Basisbreite etwa 18 m. Auf einer gewissen Länge von der Küste aus gerechnet,

liegt auf der Rückseite eine Steinschüttung zum Schutz gegen Unterspülung des Fusses durch die Brandung.

Der Wellenbrecher von Odessa, 1220 m lang, Abb. 177, aus Blöcken auf Stein-Schüttung hergestellt, folgt französischer Konstruktionsweise. Die Versetzung der — nicht besonders grossen — Blöcke wurde mit schwimmenden Krähnen ausgeführt. In gleicher Bauweise sind auch die Molen (Piers) des Hafens hergestellt.

Abb. 176, Wellenbrecher von Dover.



Die 2400 m langen Molen des Hafens von Bilbao (Spanien) sollen nach Abb. 178 aus einer Steinschüttung, einer darüber liegenden 7 m hohen Schicht verstürzter Blöcke von zusammen mehr als 200 000 cbm Inhalt und einer darauf errichteten Mauer bestehen. Blockgrösse von 30 bis 50 cbm. Ob die lose Schüttung der Blöcke eine ausreichend sichere Unterlage giebt, ist nicht fraglos; indessen haben die Blöcke so gewaltige Grössen und werden von dem sehr heftigen Wellenschlage in kurzer Zeit so sehr gerüttelt, dass man an einen günstigen Erfolg wohl denken kann.

Abb. 177, Wellenbrecher von Odessa.

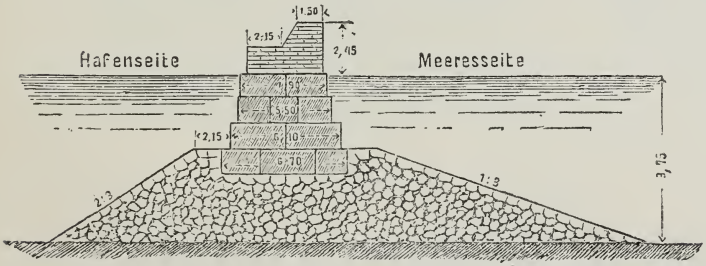


Abb. 179 und 180 geben die Querschnitte von Wellenbrechern zweier französischer Häfen, bei denen der Blockbau in grossem Styl angewendet worden ist. Abb. 179 stellt den Wellenbrecher von Port Vendres

dar, der demjenigen von Bilbao als Vorbild gedient haben dürfte, Abb. 180 den Wellenbrecher im Hafen von La Ciotat.

Eigenthümliche Konstruktion, bei der Betonblöcke und Steinschüttung benutzt sind, zeigen die Molen von Tynemouth, Abb. 181. Auf der Steinschüttung liegt, gewissermassen als Einfassung, beiderseits, eine Betonschüttung, deren Fuss durch Blöcke gesichert ist.

Abb. 178, Wellenbrecher von Bilbao.

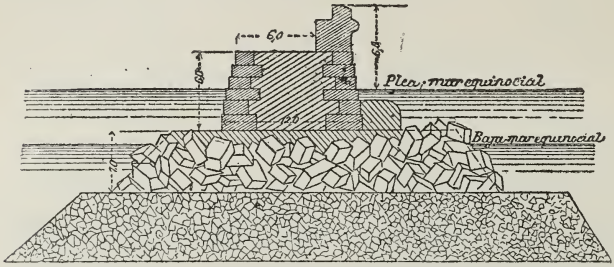


Abb. 179, Wellenbrecher von Port Vendres.

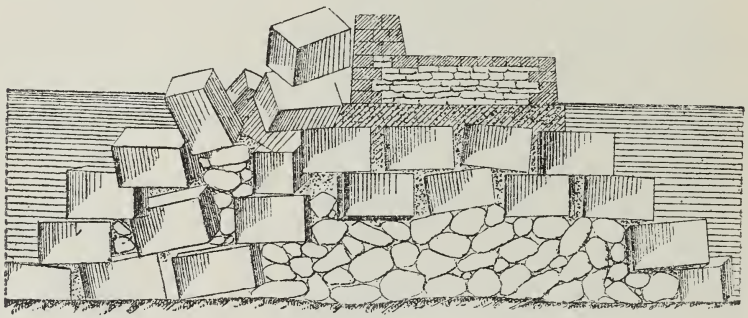


Abb. 180,
Wellenbrecher von La Ciotat.

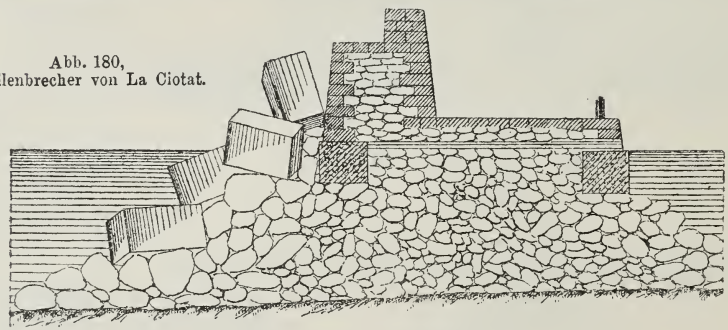
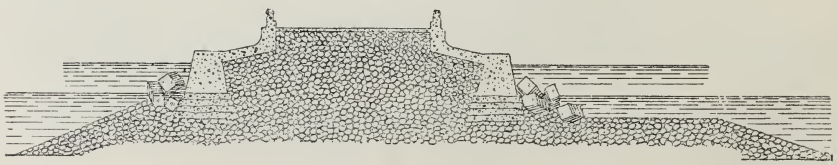
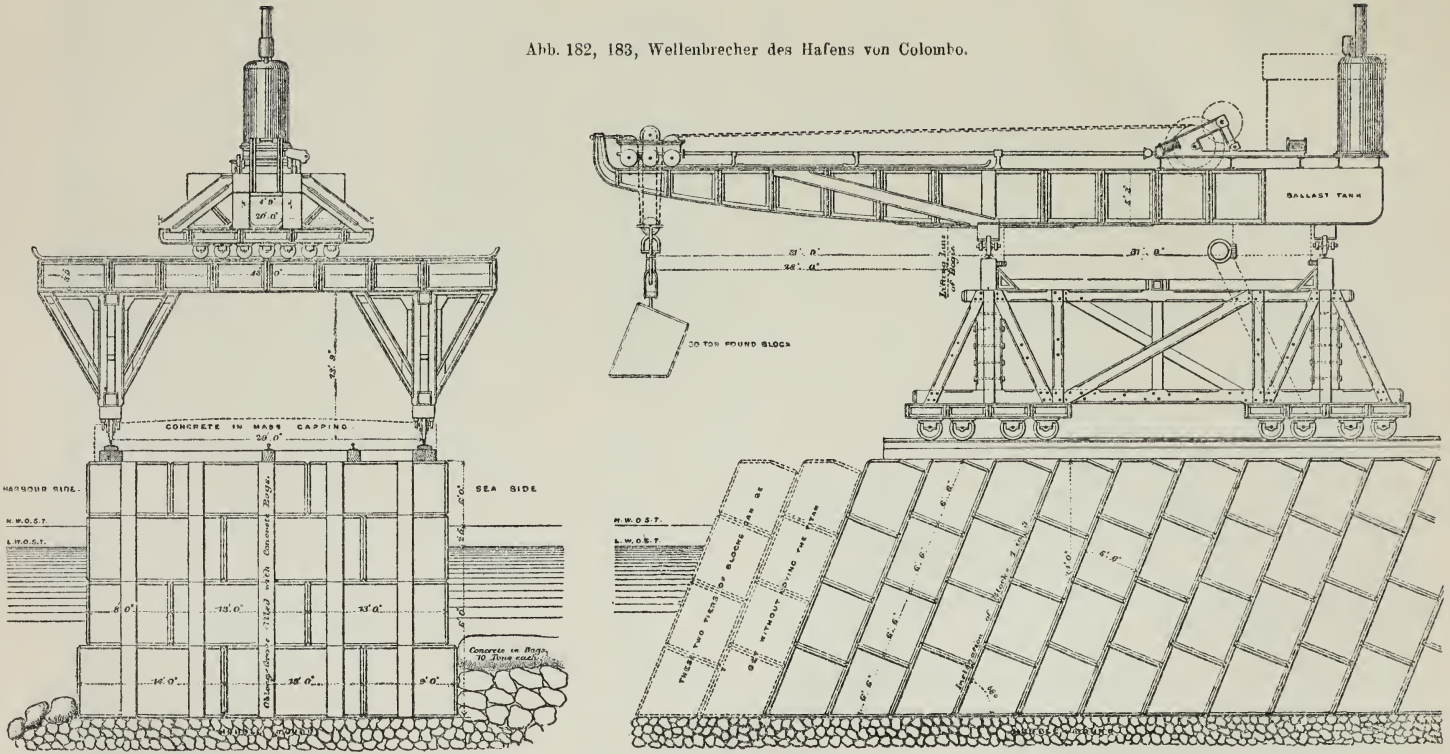


Abb. 181, Molen von Tynemouth.



Für das Gelingen eines auf Steinschüttung gegründeten Baues an der Seeküste ist es von grosser Wichtigkeit, dass in der Schüttung „alle“ Stein-Grössen vertreten sind, weil nur dann unter der Wirkung des

Abb. 182, 183, Wellenbrecher des Hafens von Colombo.



Wellenschlags eine so dichte Lagerung der Schüttsteine stattfindet, dass diese den nöthigen Grad von Unbeweglichkeit erreichen.

Der Wellenbrecher von Colombo (Ceylon), eine der grossartigsten Ausführungen dieser Art, welche in der Zeit von 1875—1885 für den Kostenaufwand von etwa 14 Millionen Mark hergestellt wurde, hat die Länge von 1260 m, jedoch nicht gerade besonders grosse Höhe. Die Schwierigkeiten des Baues beruhten in der ausserordentlichen Heftigkeit des Seeganges (Spritzen der Wellen bis zu 50 m Höhe), dem zu begegnen, man zu der in Abb. 182 u. 183 dargestellten Bauweise mit lehnenden Blöcken griff, die etwa 8,0—9,0 cbm Grösse haben und auf einer Steinschüttung stehen. Letztere ist an der Seeseite auf 700 m Länge des Wellenbrechers durch eine 7 m breite Lage von Sackblöcken gesichert, welche möglichst dicht an einander verlegt sind und je etwa 4,5 cbm Inhalt haben.

Die Blöcke stehen mit der Lehnung von 68 0 und auf die Köpfe derselben ist eine Betonschüttung von 1,1 m mittlerer Stärke gebracht; selbstverständlich sind die Blöcke unter einander mit Versatzung gestellt. Der zum Versetzen der Blöcke benutzte Laufkrahn wog im dienstfähigen Zustande 18 000 kg; man konnte damit in 12 Stunden, unter Mitwirkung eines Tauchercorps von 12 Mann, 30 Blöcke versetzen.

Das Ende des Wellenbrechers besteht aus 2 auf einander gelegten zylinderförmigen Blöcken von 19 m Durchmesser und (zusammen) 8,2 m Höhe. Zwei Blechzylinder dieser Grösse wurden so weit mit Beton gefüllt um noch schwimmfähig zu sein; sie wurden sodann an Ort und Stelle geflösst und durch weiteres Einfüllen von Beton über einander versenkt.

Den Blöcken liess man zur Erhärtung 6 Wochen Zeit bevor man sie versetzte. — Das Werk hat sich in dem heissen Klima, nur 7 0 nördlich vom Aequator, unter dem denkbar heftigsten Seegang gut bewährt.

Die Lehnung der Blöcke soll übrigens in Colombo nicht zum ersten mal ausgeführt sein, da sie unter kleineren Verhältnissen schon um 1870 bei einem anderen indischen Hafenbau ebenfalls mit Erfolg angewendet worden ist; später ist dieselbe auch in dem französischen Hafen La Réunion ausgeführt, wo man mittelst Krahn von 6,7 m Ausladung Blöcke von 50 cbm Grösse versetzt hat.

Der Wellenbrecher von Hartlepool besteht aus Blöcken der Abmessungen 2,75 × 1,35 × 1,2 m die in der Mischung von 1 Cem. und 10 Th. Kies und Gerölle hergestellt sind, die an der Seeseite liegenden Blöcke jedoch aus 1 Cement und 7 Th. Kiessand. Die Brustwehr, 3,15 m dick, 2,10 m hoch, wurde in Einzellängen von 4,25 m an Ort und Stelle geformt.

Der Wellenbrecher von Aberdeen (in den 60er Jahren erbaut) besteht unten aus Sackbeton-Schichten mit der Grösse der einzelnen Säcke von 40 cbm und darüber; Betonmischung 1 Cement, 2,5 Sand und 3,5 Kies. Darüber liegen Blöcke von 3—12 cbm Grösse aus 1 Cement, 4 Sand und 5 Kies, in welche noch einzelne grössere Steine eingepackt sind. Auf die oberste Blocklage ist eine mächtige Betonlage, im unteren Theil aus 1 Cement, 4 Sand und 5 Kies, im oberen aus 1 Cement, 3 Sand und 4 Kies gebracht worden. Die Mischungen des Betons sind durchgehends sehr mager; Stampfen desselben hat nicht stattgefunden; die Versetzung der Blöcke ist ohne guten Fugenschluss erfolgt; die Blöcke sind im Vergleich zu der Heftigkeit des Seeganges in Aberdeen von zu geringer Grösse. Diese Gründe dürften ausreichend sein, früh eingetretene Beschädigungen des Wellenbrechers zu erklären und die Heranziehung von Ursachen chemischer Natur, zer-

störende Einwirkung des Seewassers auf den Mörtel, als nicht durchaus nothwendig erscheinen zu lassen[1]), da durch die Erfahrung in zahlreichen Fällen Portland-Cementmörtel wenn sachgemäss (fett) gemischt und durch Stampfen dicht gemacht, als vollkommen widerstandsfähig gegen Seewasser erwiesen ist.

Molen-Konstruktionen verschiedener Art, die mittelst Sackblock-Gründung und Schüttungen hergestellt sind, finden sich in den Häfen von Fraserburgh, Sandhaven und Portsoy, Abb. 184—186. Die Sackblöcke sind 12—20 cbm gross, die Schalungen, welche für die (420 m lange) Mole immer um die Länge von 5 m vorgerückt ward, war mit Jutestoff benagelt. Die Betonmischung besteht aus 1 Th. Cement und 9 Th. Kiessand; man konnte

Abb. 184—186, Molen zu Fraserburgh, Sandhaven und Portsoy.

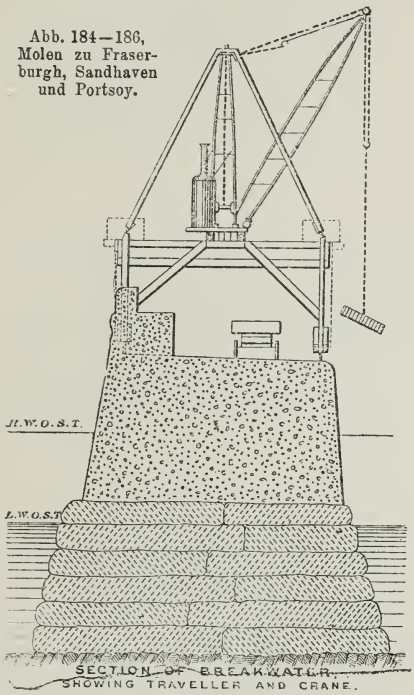


Abb. 185.

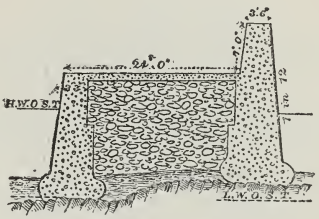
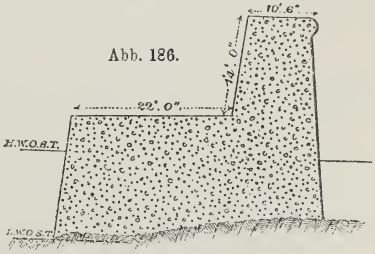


Abb. 186.



in 1 Tag etwa 400 cbm Schüttung fertig stellen. Zwar handelt es sich um Konstruktionen minderer Bedeutung; es ist aber an denselben eine gewisse Kühnheit in der Verwendungsweise des Betons ersichtlich.

Die Abb. 187—193, von dem in den Jahren 1883, 1884 ausgeführten Hafendamm in Wicklow entnommen, stellen die Art des Arbeitsvorganges dar, welcher sich durch Einfachheit der Rüstungseinrichtungen vortheilhaft auszeichnet. Die Mischungen wurden trocken mittelst Kästen versenkt; bestanden für den Kern aus 1 Th. Cement und 7 Th. Kiessand, für die Aussenseiten aus 1 Th. Cement und 4 bezw. 3 Th. Kiessand. Die Joche der Rüstung hatten 4,2 m Abstand; mittelst des benutzten Dampfkrahns schüttete man in 1 Tag bis 200 cbm Beton mit eisernen Kästen von etwa 1 cbm Grösse.

[1]) Vergl. Bamber and Carey, On Portland Cement and Smith, On Portland Cement Concret, Exc. Min. of Proceed. of the Inst. of Civ. Eng., London 1892; ferner: Concrete as applied in the Construction of Harbours; Exc. Min. etc., London 1886, endlich Michaëlis, On the Behaviour of Portland Cement in Sea Water, Exc. Min. etc., London 1892.

Die grossartigste Verwendung von Sackblöcken liegt zu Newhaven, vor wo man dieselben zur Fundirung eines Wellenbrechers von 840 m Länge verwendet hat. Die Tiefe der Fundirung reicht bis 5,4 m unter Ebbe-

Abb. 187—193, Hafendamm in Wicklow.

Abb. 188.

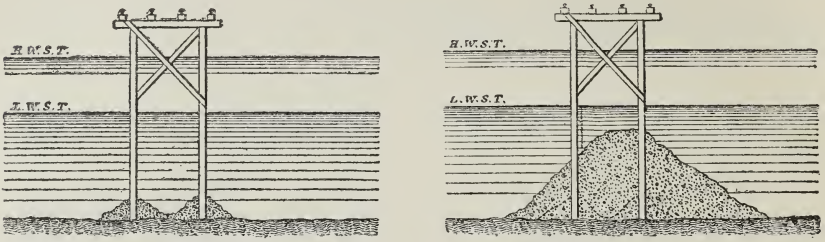


Abb. 189.

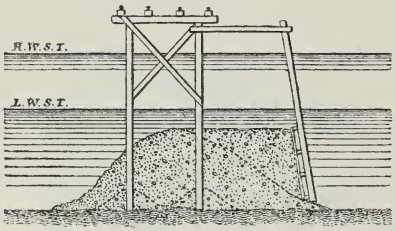


Abb. 190.

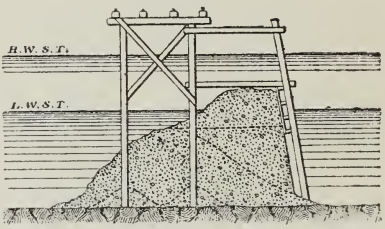


Abb. 191.

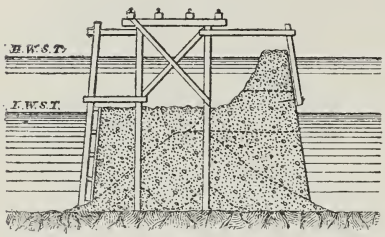


Abb. 192.

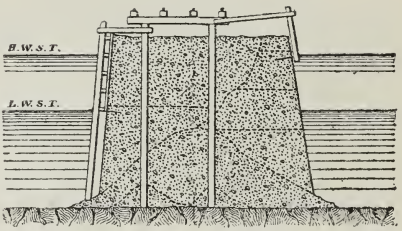
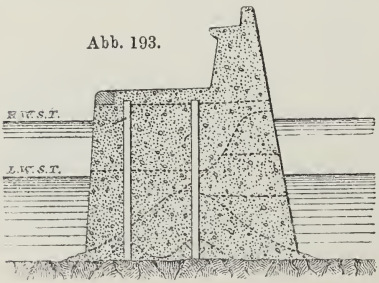


Abb. 193.



stand und es beträgt der mittlere Fluthwechsel 5,5 m; die hier verwendeten Sackblöcke erreichten die Grösse von ungefähr 45 cbm (100,000 kg). Die Versenkung geschah mit Dampfbooten, welche 12,5 m lange, 2,4 m weite (schwimmfähige) Bodenklappen hatten. Seitlich und unten waren die Säcke mit Doppellage von Jutestoff hergestellt; im gelagerten Zustande beträgt die Höhe einer Sackblock-Schicht etwa 0,75 m. Das Fundament aus Sackblöcken reicht bis etwa 0,6 m über den Ebbespiegel; auf eine leichte Abgleichung der obersten Schicht wurde die eiserne Rüstung für die Schalung

gestellt. Wenn diese fertig war, erreichte man — unter Benutzung von Betonmaschinen besonderer Konstruktion (vergl. S. 147) — in je 3 Tagen einen Baufortschritt von 12 m, abgesehen von der Brustwehr. Die Kosten der Mörtelbereitung stellten sich für 1 Sackblock bei Maschinenarbeit auf 35 M., bei Handarbeit — welche im ersten Stadium des Baues angewendet ward — auf das Dreifache. 1 m Länge des Wellenbrechers erreichte die Gesammtkosten von etwa 4000 M.

Bei einer Ufermauer-Anlage von 550 m Länge zu Newhaven sind zur Gründung ebenfalls Sackblöcke, jedoch mit Hülle aus wasserdicht

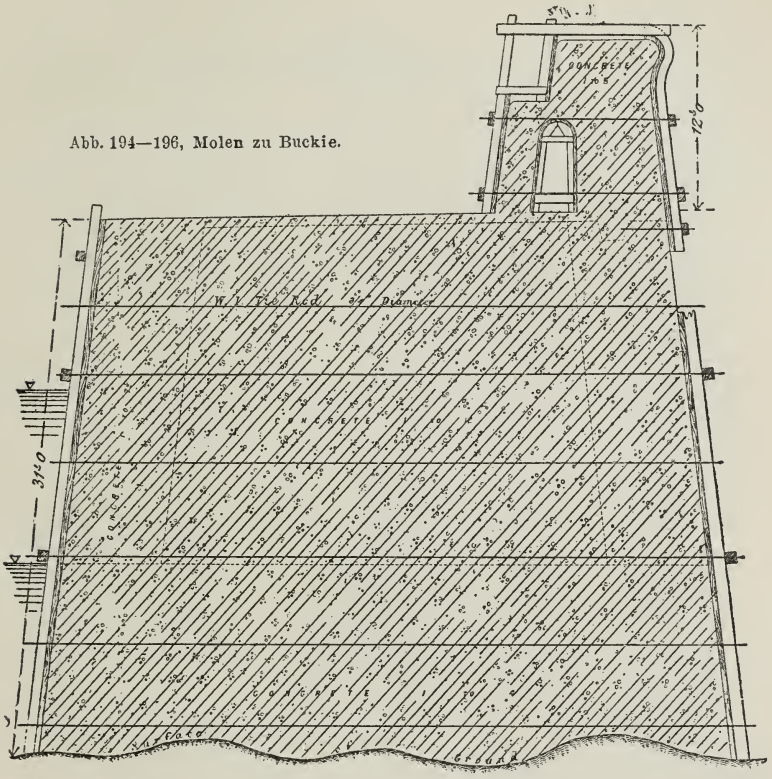


Abb. 194—196, Molen zu Buckie.

gemachtem Stoff, verwendet worden. Beton-Mischung 1 Cement, 2 Sand, 5 Geschiebe.

Die Abb. 194—196 zeigen einen bedeutenden Molenbau mittelst Schüttung, im Hafen von Buckie in der zweiten Hälfte der 70er Jahre zur Ausführung gebracht, mit Beton-Mischungen welche zwischen 1 Theil Cement und 2—4 Theilen Sand und Schotter wechseln. Die Betonbereitung erfolgte mit Betonmaschinen von Messent (S. 151). Der Betrieb von zwei solchen Maschinen nebst den zugehörigen Hülfsarbeiten erforderte eine Maschinenstärke von 8 Pfdkr.; jede Füllung enthielt etwa 0,4 cbm und die beiden Maschinen lieferten in 1 Stunde 29 cbm Beton. Auf die durchgehenden

Anker der Einrüstung wurde eine dachförmige Rinne gedeckt; sie konnten darunter leicht wieder heraus gezogen werden. Auf der Innenseite der Schalung ward ein Jutebezug angebracht und alsdann der Beton aus Wagen 2—3 m hoch in die Form verstürzt (!) Der Beton zum inneren Theil der Mole ist in der magersten Mischung, derjenigen für den ganzen unteren Theil und die seitlichen Theile aber in der fetteren Mischung hergestellt.

Es ist hier schliesslich einer Ausführung an der ostfriesischen Küste bei

Abb. 195.

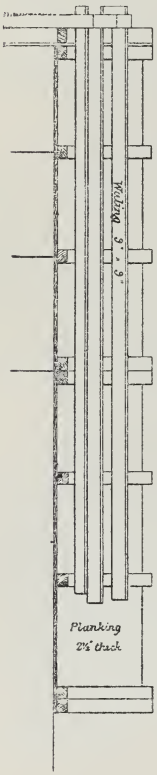
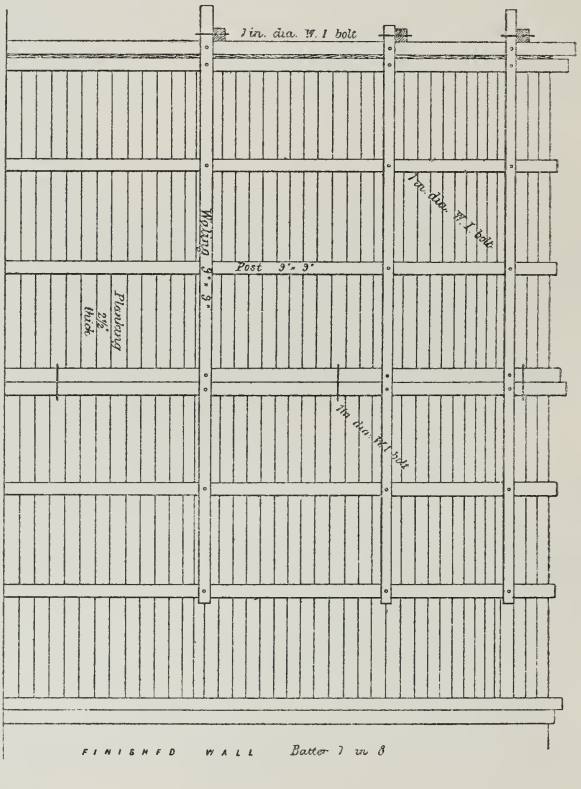


Abb. 196.



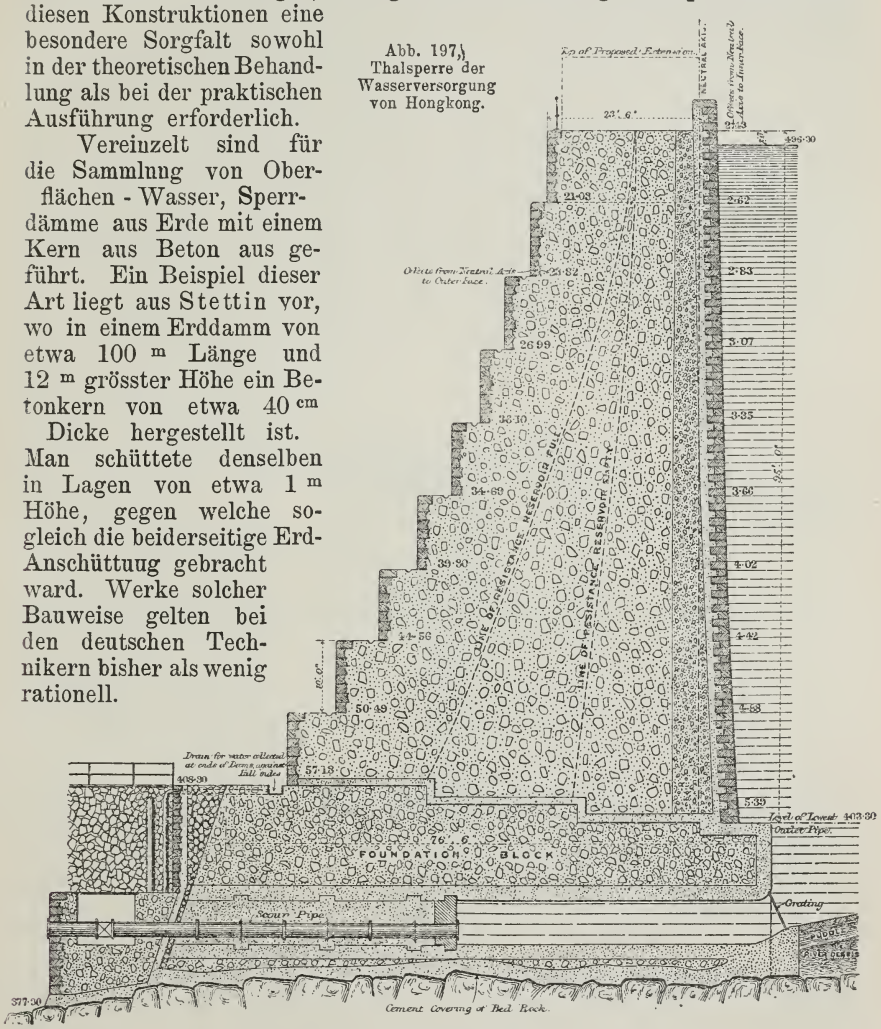
Norddeich kurze Erwähnung zu thun, wo grössere Hafenwerke mittelst Schüttungen hergestellt sind. Das Eigenartige derselben besteht darin, dass nicht eigentlicher Beton, sondern Cementmörtel sehr magerer Mischung verwendet wurde, mit Sand von besonderer Feinheit und mit Seewasser so trocken als möglich angemacht. Die Mischungsverhältnisse für die verschiedenen Theile des Werks sind in Gewichts-Theilen angegeben 1 : 7,5, 1 : 12 und sogar 1 : 18. Was bisher über diese Ausführung in die Oeffentlichkeit gelangt ist[1]) lautet günstig; doch müssen zunächst eingehendere Mittheilungen abgewartet werden.

[1]) Vergl. D. Bauztg. 1892, S. 50.

f. Baulichkeiten zum Zwecke der Wasserversorgung und verwandter Gegenstände.

Bei den Anlagen dieser Art handelt es sich immer um Wasserdichtheit des Betons und gewöhnlich auch darum, dass die Konstruktion im Stande sei, erhebliche Spannungen (sowohl Druck- als Zugspannungen) auszuhalten. Die Anforderungen an Bauwerke dieser Art sind daher besonders grosse und wenn der Betonbau sich bei denselben bewährt, wie es thatsächlich der Fall ist, so liegt darin ein zweifelsfreier Beweis, dass derselbe, auch sehr hohen Anforderungen, Genüge zu leisten vermag. Entsprechend ist bei diesen Konstruktionen eine besondere Sorgfalt sowohl in der theoretischen Behandlung als bei der praktischen Ausführung erforderlich.

Abb. 197. Thalsperre der Wasserversorgung von Hongkong.



Vereinzelt sind für die Sammlung von Oberflächen-Wasser, Sperrdämme aus Erde mit einem Kern aus Beton aus geführt. Ein Beispiel dieser Art liegt aus Stettin vor, wo in einem Erddamm von etwa 100 m Länge und 12 m grösster Höhe ein Betonkern von etwa 40 cm Dicke hergestellt ist. Man schüttete denselben in Lagen von etwa 1 m Höhe, gegen welche sogleich die beiderseitige Erd-Anschüttuug gebracht ward. Werke solcher Bauweise gelten bei den deutschen Technikern bisher als wenig rationell.

Eine Thalsperre grösster Art ganz aus Beton ist für die Wasserversorgung von Hongkong hergestellt worden. Abb. 197 giebt einen Schnitt derselben an der Stelle des Entleerungs-Rohres. Das durch Anlegung dieser Sperre geschaffene Wasserbecken hat einen Fassungsraum von

1 400 000 cbm; der Sperrdamm ist 146 m lang und hat 36,5 grösste Höhe bei 23 m Basis- und etwa 7 m Kronenbreite. Zunächst musste der Felsgrund von zerfallenem Gestein gesäubert werden, und wurden darnach, da, wo derselbe ebene Oberfläche zeigte, Absätze und Einschnitte gebildet, um den Damm gegen Gleiten auf seiner Basis zu sichern. Demnächst wurden Risse und Sprünge in dem Fels sorgfältig mit Cement vergossen und nunmehr eine 5 cm starke Schicht von fettem Cementmörtel aufgetragen. Alsdann folgte das Einbringen des Betons zwischen den als Form benutzten Steinverkleidungen in Schichten von mindestens 30 cm Höhe, die mit hölzernen Stampfern gestampft wurden. In dem Kern des Dammes sind grössere Steine eingebettet, während die dem Wasser zugekehrte Seite, wie auch die tiefer liegenden Schichten, aus besonders fetten Betonmischungen hergestellt sind. Ausserdem hat die dem Wasser zugekehrte fettere Schicht beiderseits einen Mörtelüberzug erhalten. Die Bereitung des Betons für den unteren Theil der Sperrmauer, geschah mit Hand; nur für den oberen Theil wurden Maschinen benutzt. Der Beton musste feuchter als sonst üblich angemacht werden, weil in der Hitze des chinesischen Sommerklimas eine ausserordentliche rasche Wasserverdunstung stattfindet. Die Betonmischung ist unten: 1 Theil Cement, 2 Theile Sand, 2 Theile Granitschotter der Korngrösse bis 10 mm und 2 Theile desgl. von 37 mm, oben 1 Theil Cement, 3 Theile Sand und 4—5 Theile Schotter.

Abb. 198 zeigt den Schnitt einer Umfassungsmauer des offenen Wasser-Reservoirs von Yokohama, dessen Boden ebenfalls aus Beton hergestellt ist. Das Reservoir hat die bedeutende Wassertiefe von 5,5 m, welche über das meist eingehaltene Maass hinausgeht, und etwa 44 m und bezw. 58 m Seitenlänge. Unter dem Boden des Reservoirs ist ein Thonschlag gebracht, welchem zu vermehrter Sicherheit gegen Bewegungen, Geschiebe im Verhältniss 1 : 4 beigemengt sind; ein Thonschlag hinter den Mauern ist ohne Zumischung von Geschieben hergestellt und gleichzeitig mit der Mauer hoch genommen. Der Thon musste etwa 20 km weit bezogen werden, wurde gewintert, fein zertheilt und plastisch angemacht. Der Gang der Arbeit war so eingerichtet, dass man zunächst die Mauern etwa 3 m hoch aufführte, alsdann die Herstellung des Bodens in Angriff nahm und Boden und Mauern gleichzeitig vollendete. Der Beton hatte folgendes Mischungsverhältniss: 1 Th. Cement, 1,6 Th. Sand, 1,6 Th. Kies mit Körnern bis 2,5 cm Grösse und 9 Th. Schotter mit Körnern von 5 bis 9 cm Grösse.

Abb. 198, Reservoir-Mauer des Wasserwerks von Yokohama.

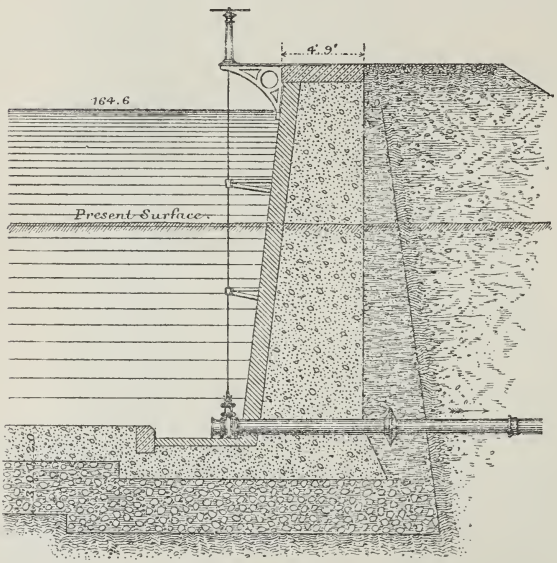


Abb. 199, 200 geben Durchschnitte der schrägen Einfassungen für das Reservoir der Wasserwerke von Hongkong, welches unmittelbar an die Filterbetten angrenzt. Die Wassertiefe des Reservoirs beträgt 9 m. Einfassung und Boden desselben bestehen aus Kalkbeton, in welchem gröbere Steinstücke eingepackt sind. Der Boden hat jedoch einen zweimaligen Ueberzug aus fettem Cementmörtel erhalten. —

Abb. 200, Reservoir-Mauer des Wasserwerks von Hongkong.

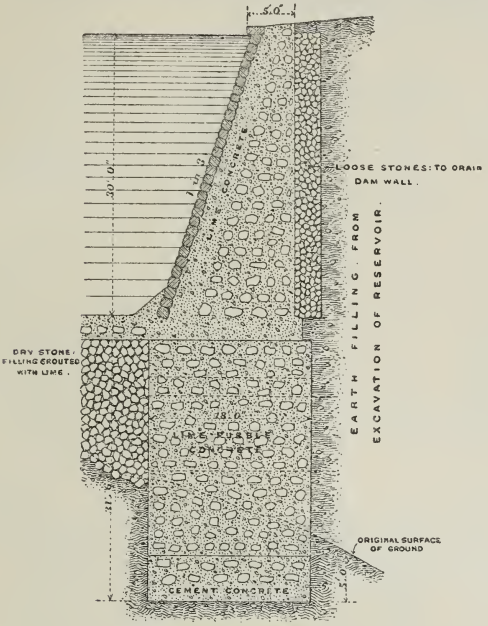


Abb. 199.

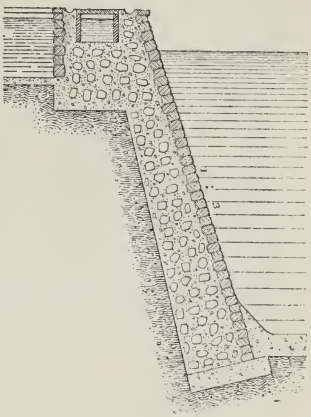
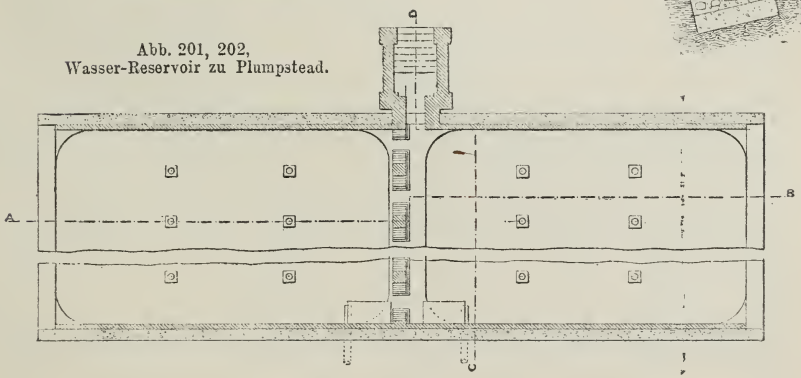
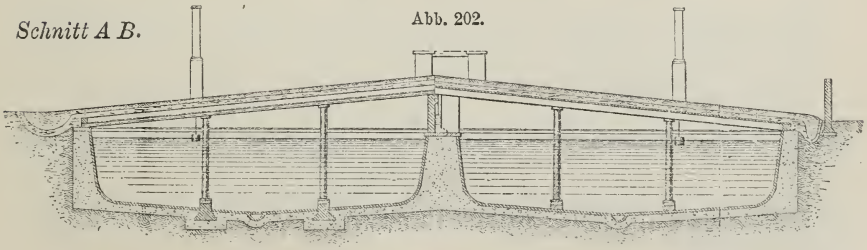


Abb. 201, 202,
Wasser-Reservoir zu Plumpstead.



Schnitt A B.

Abb. 202.

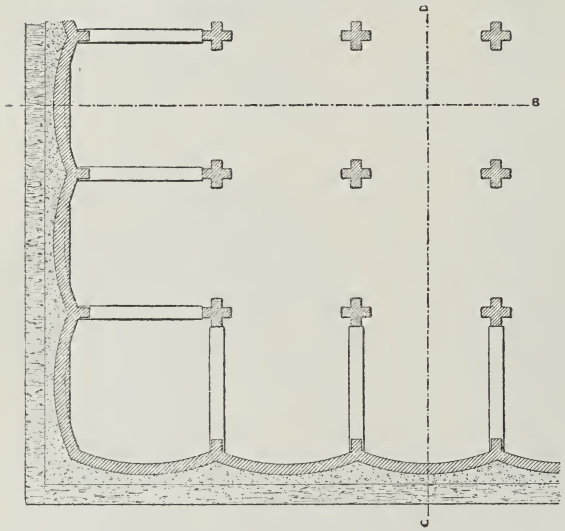


Von bedeckten Reservoiren mögen zunächst einige ausländische vor-

geführt werden, deren Konstruktion weniger Typisches zeigt, als die in Deutschland meist angewendete.

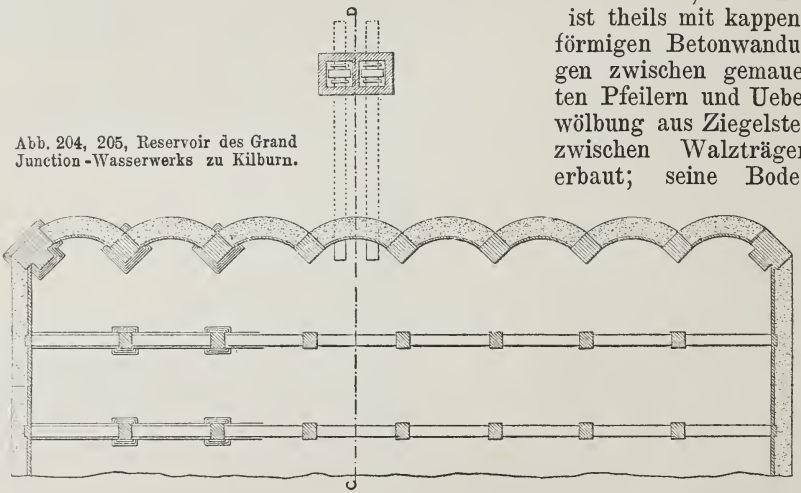
Das Reservoir des Wasserwerks zu Plumpstead, Abb. 201, 202, hat Einfassungen aus schrägen Betonwänden und geneigte Bodenflächen aus Beton, alles mit Ziegelstein dünn verkleidet. Der Fassungsraum desselben ist 2900 cbm, bei etwa 3,3 m Wasserstandshöhe. Die Wandstärke beträgt unten 1,25 m, oben 0,75 m, die Bodenstärke nur etwa 6,0 m; die Neigung der Vorderfläche der Einfassungsmauern ist 1:8. Die Ueberwölbung aus Ziegeln ist zwischen gusseisernen Trägern ausgeführt, welche auf je 2 gusseisernen Zwischenunterstützungen ruhen. Die Kosten des Reservoirs einschliesslich derjenigen der Einfriedigung werden zu etwa 24 M. für 1 cbm Fassungsraum angegeben.

Abb. 203, Wasser-Reservoir zu Woolwich.



Das Reservoir zu Woolwich, Abb. 203 ist theils mit kappenförmigen Betonwandungen zwischen gemauerten Pfeilern und Ueberwölbung aus Ziegelstein zwischen Walzträgern erbaut; seine Bodenstärke beträgt nur 15 cm; es kommt aber ein gleich starker Thonschlag darunter hinzu. Die Mauern haben Ziegelstein-Verkleidung. Es hat bei etwa 66 zu 33 m Grösse und 4 m Wassertiefe einen Fassungsraum von rund 6800 cbm; seine Baukosten werden zu etwa 16 M. für 1 cbm Fassungsraum angegeben.

Abb. 204, 205, Reservoir des Grand Junction-Wasserwerks zu Kilburn.



Das Reservoir der Grand-Junction-Wasserwerke zu Kilburn (London), Abb. 204, 205, hat bei 92 m Länge, 56 m Breite und der Wassertiefe von 6 m den Fassungsraum von etwa 27000 cbm. Der Boden ist 30 cm stark in Beton hergestellt; die Seitenwände sind in Mauerwerk kappenförmig erbaut, aber mit Beton hinterfüllt, der seinerseits wieder eine Hinterfüllung aus einem 1,8 m starkem Thonschlag erhalten hat. Die Decke ist aus Ziegeln in 2 Ringen zwischen Gurtbögen gewölbt. Die Kosten werden zu etwa 17 M. für 1 cbm Fassungsraum angegeben.

Abb. 205.

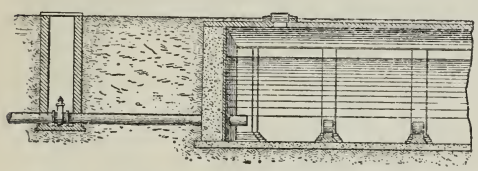


Abb. 206, 207, Reservoir des Grand-Junction Wasserwerks zu Hampton.

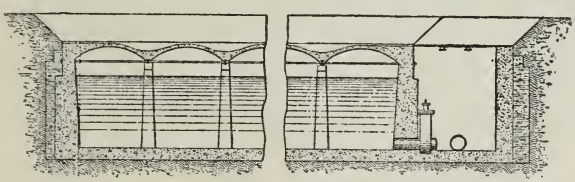
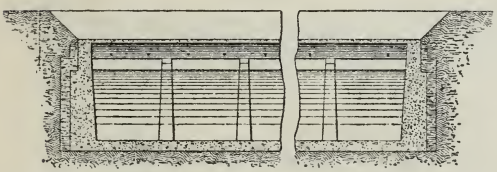


Abb. 207.



Abweichend von dem Reservoir zu Kilburn ist das Reservoir derselben Wasserwerks-Gesellschaft zu Hampton, Abb. 206—207, erbauet. Bei 75 m Länge, 50 m Breite und 3,5 m Wassertiefe hat dasselbe einen Fassungsraum von etwa 12500 cbm. Es ist ganz in Beton hergestellt; die Seitenmauern haben 1,8 m Dicke an der Basis und 0,9 m oben; die Pfeiler stehen 3,6 m weit. Die Kappen sind zwischen Eisenträgern gespannt, haben an den Kämpfern 45 cm und im Scheitel 23 cm Stärke. Der Beton ist aus 1 Th. Cement und 6 Th. Kiessand mit Korngrössen nicht über 38 mm gemischt. Die Wände haben keinen besonderen Abputz erhalten; es sind nach Fortnahme der Rüstungen nur die Unebenheiten derselben abgeglichen worden. Die Baukosten werden zu etwa 13 M. für 1 cbm Fassungsraum angegeben, ein sehr niedriger Preis, der sich nur daraus erklärt, dass der Kiessand aus der Baugrube selbst gewonnen werden konnte.

Aehnlich, wie die vorgeführten sind zahlreiche andere englische Reservoire erbaut. Fast regelmässig handelt es sich um gemischte Ausführungen in Beton nnd Mauerwerk; für die Ueberwölbung wird Mauerwerk entschieden bevorzugt, desgleichen für die Pfeiler; die Wände erhalten meist Ziegelstein-Verkleidung, öfter auch der Boden aus Beton.

Der englische Ingenieur Morris[1]) redete noch im Jahre 1883 diesem „gemischten Systeme“ das Wort, indem er als Muster eines gedeckten Reservoirs ein solches mit Sohle und niedrigen Seitenwänden aus Beton, aber gemauerten Pfeilern und Ziegelstein-Wölbung als Decke empfahl. Doch will Morris Sohle und Seitenmauern nicht mit Stein verkleiden, sondern nur mit Abputz versehen. Der Boden soll 45 cm, die Seitenmauern sollen bei 2,25 m Höhe 1,25 m Stärke erhalten.

Die aus den mitgetheilten Beispielen hervor gehende Abneigung der englischen Techniker gegen Betongewölbe ist auffällig gegenüber der

[1]) Morris, On covered Service Reservoirs; Exc. Min. of Proceed. of the Inst. of Civ.-Engineers. Sess. 1882/83. London 1883.

Bevorzugung, welche in Deutschland das Betongewölbe neuerdings erfährt. Was rationelle Durchbildung von Wasserreservoiren betrifft, so sind die deutschen Spezialisten längst zu festen Prinzipien gelangt, die den englischen Technikern in diesen Konstruktionen noch zu fehlen scheinen. Jene lösen die betr. Aufgaben, unbeschadet geringer Abwandelungen in Einzelheiten, in ökonomischer und technischer Hinsicht mit vollkommener Sicherheit für den Erfolg, wovon die nachstehend mitgetheilten, von deutschen Wasserwerken entnommenen Beispiele den Beweis enthalten.

Englischen Anschauungen entspricht noch das Reservoir der Münchener Wasserversorgung, vielleicht aus dem Grunde, dass bei demselben die Auffassungen des Unternehmers (eines Ingenieurs englischer Herkunft) zur Geltung gelangt sind. Dasselbe ist, Abb. 208, im Boden und im untern 2,20 m hohen Theil der Seitenwände aus Beton erbaut, während der obere, über Terrainhöhe reichende Theil der Mauer, wie desgleichen die Ueberwölbung aus Mauerwerk hergestellt ist, und nur die Zwickel der 3 m weit gespannten Mauerkappen mit Beton gefüllt sind. Bodenstärke 0,58 m,

Abb. 208, Reservoir der Münchener Wasserversorgung.

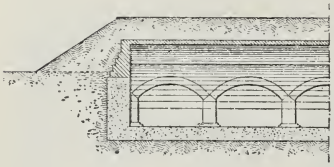
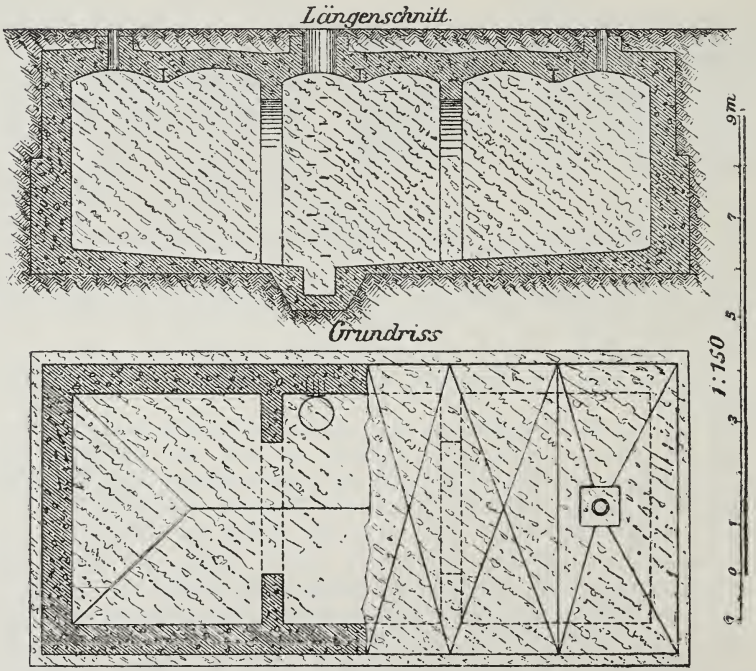


Abb. 209, 210, Wasserreservoir für Schloss Fürstenried.



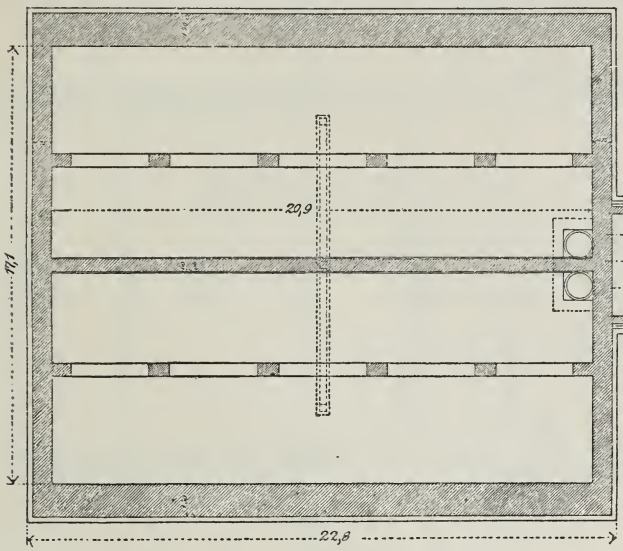
Mauerstärke 1,05 m. Betonmischung 1 Th. Cement, 1 Th. Sand, 5 Th. Kies. Die Innenseiten der Mauern haben einen Abputz aus Cementmörtel erhalten.

Abb. 209, 210 stellt ein für das K. Lustschloss Fürstenried im Jahre 1880 erbautes kleines Wasserreservoir dar, welches ganz in Betonbau

unter Zuhilfenahme von kurzen Eisenträgern für die Decke hergestellt worden ist. Der Fassungsraum beträgt etwa 150 cbm.

Das Reservoir des Wasserwerks für Reichenbach i. V., Abb. 211 bis 213, ist, gleich den in den Abbild. 214—223 dargestellten anderweiten Bauwerken, im Jahre 1888 für die Summe von 23500 M., abgesehen von den Erdarbeitskosten, von der Firma Dyckerhoff und Widmann in Biebrich erbaut worden; es handelt sich dabei um einen mit besonders grosser Sparsamkeit durchgeführten Bau.

Abb. 211—213, Wasserreservoir für Reichenbach i. V.



Längenschnitt.

Abb. 212.

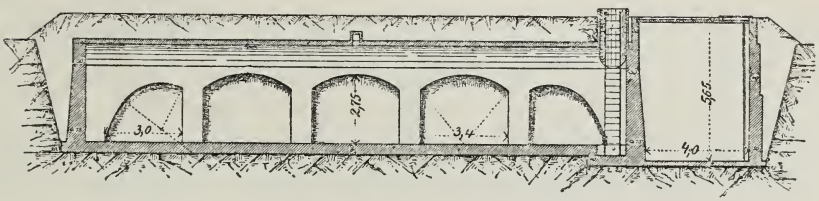
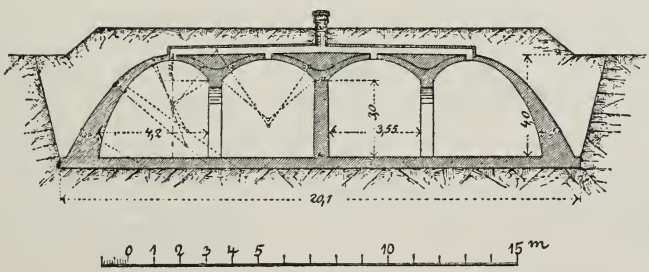


Abb. 213.



Das Reservoir des Wasserwerks für Aschaffenburg, Abb. 214 bis 219, ist im Jahre 1888 für die Summe von 32 700 M. hergestellt worden. Die Theilung des Reservoirs war von den städtischen Behörden vorgeschrieben. Die Querschnitte der einzelnen Bautheile konnten verhältnissmässig gering gehalten werden, weil das Bauwerk zum grössten Theil in den ausgesprengten Fels eingebaut werden musste. Dass dennoch die Kosten einigermassen hoch

sind, rührt von den besonderen Schwierigkeiten her, welche die Materialzuführung verursachte; es musste für diesen Zweck eine Luftbahn angelegt werden.

Ueberdeckte Filter des Wasserwerks zu Worms, Abb. 220 bis 223, ausgeführt im Jahre 1888 für den Kostenbetrag von 76 000 M., worin

Abb. 214.

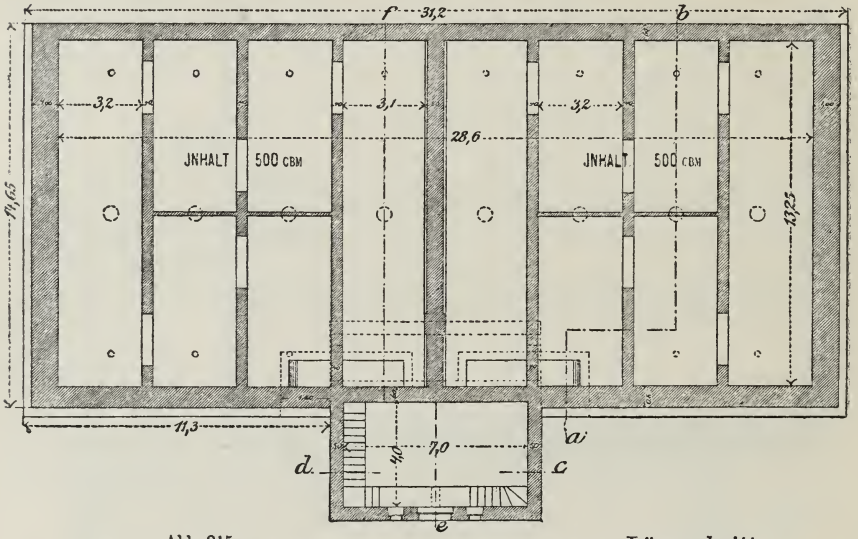


Abb. 215. *Längsschnitt.*

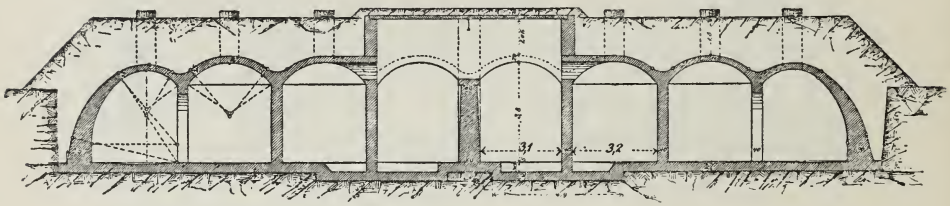
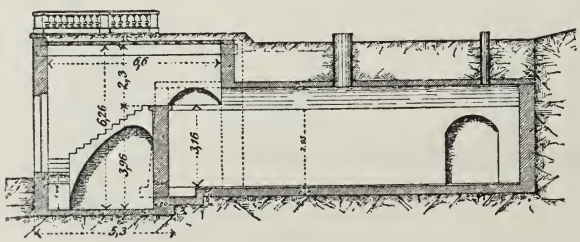


Abb. 216. *Schnitt e—f.*



die Erdarbeitskosten und die Kosten der Filterbetten nicht einbegriffen sind. An dem Entwurf der Anlage sind mehrere Techniker betheiligt; derselbe ist aus dem Entwurf einer Ausführung in Mauerwerk hervorgegangen. Der Untergrund war sehr ungünstig, so dass zur sicheren Fundirung eine Kiesschüttung hergestellt werden musste. Diesen Schwierigkeiten entsprechend ist die Sohle in der relativ grossen Stärke von 55 und bezw. 65 cm hergestellt worden. Die Kappen haben im Interesse der Gewinnung an freier Höhe nur geringen Stich erhalten.

Abb. 218.

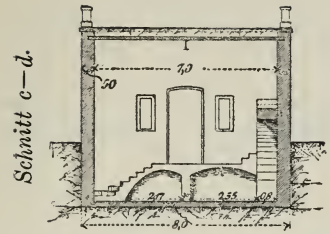


Abb. 219.

Ansicht der Schieberkammer.

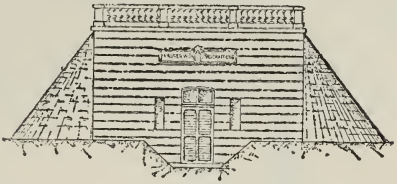


Abb. 217.

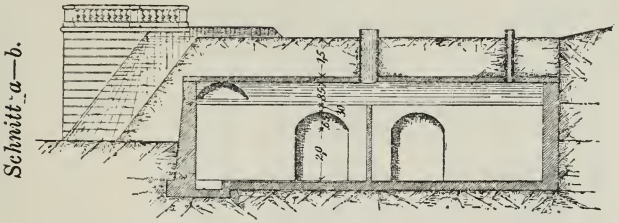


Abb. 220–223, Ueberdeckte Filter des Wasserwerks zu Worms.

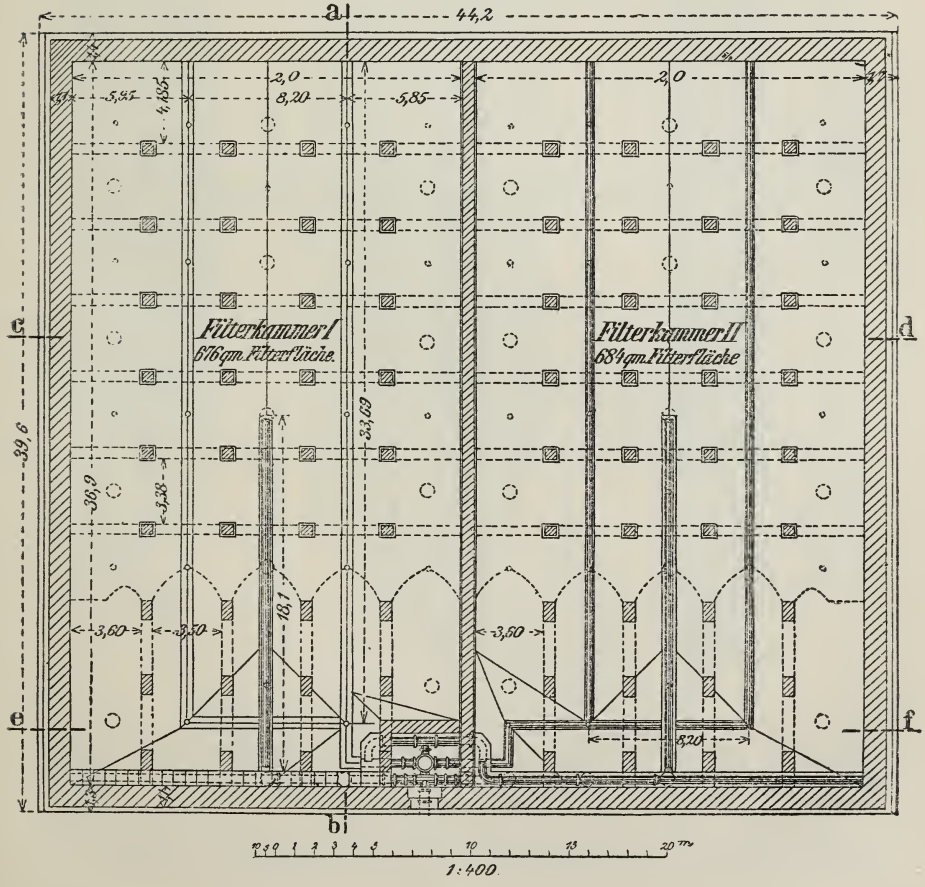
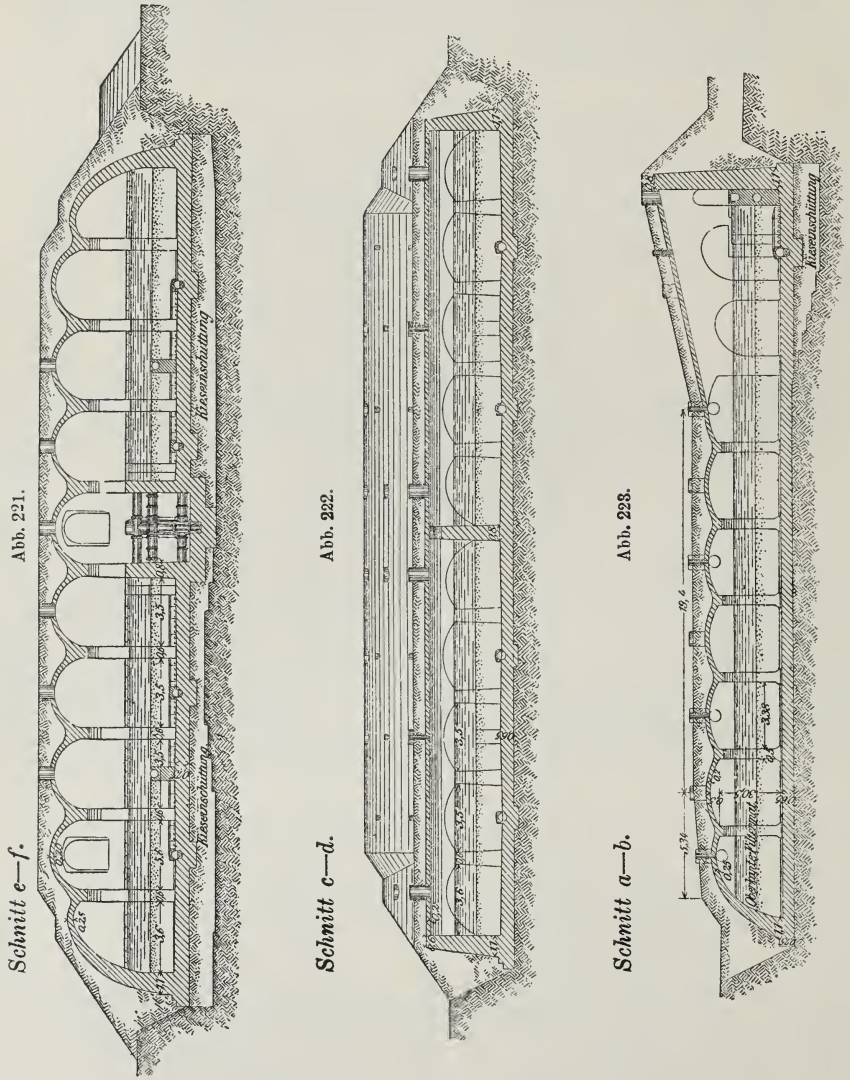


Abb. 224 stellt ein von der Firma Thormann & Schneller in Augsburg für die Voigtländische Baumwoll-Spinnerei zu Hof i. S. erbautes Kühl- und Klärbassin dar; von derselben Firma rührt auch die in Abb. 225 dargestellte Holländer-Anlage her.

Das Bassin, Abb. 224, dient zum Kühlen und Reinigen des heissen Kondensationswassers der Dampfmaschine behufs dessen Wiederbenutzung.



Die Grösse des im Jahre 1885 erbauten Bassins ist 960 qm. Dasselbe enthält nur etwa 300 cbm Beton, da bei dem sehr festen Baugrunde sowohl Sohle als Seitenwände des Bassins relativ schwach gehalten werden konnten.

Abb. 225 stellen eine Holländer-Anlage in der Stroh-Raffinerie der München-Dachauer Aktiengesellschaft für Maschinenpapier-Fabrikation in

Dachau dar, welche Anlage in der Zeit vom 15. September bis 2. Oktober hergestellt worden ist.

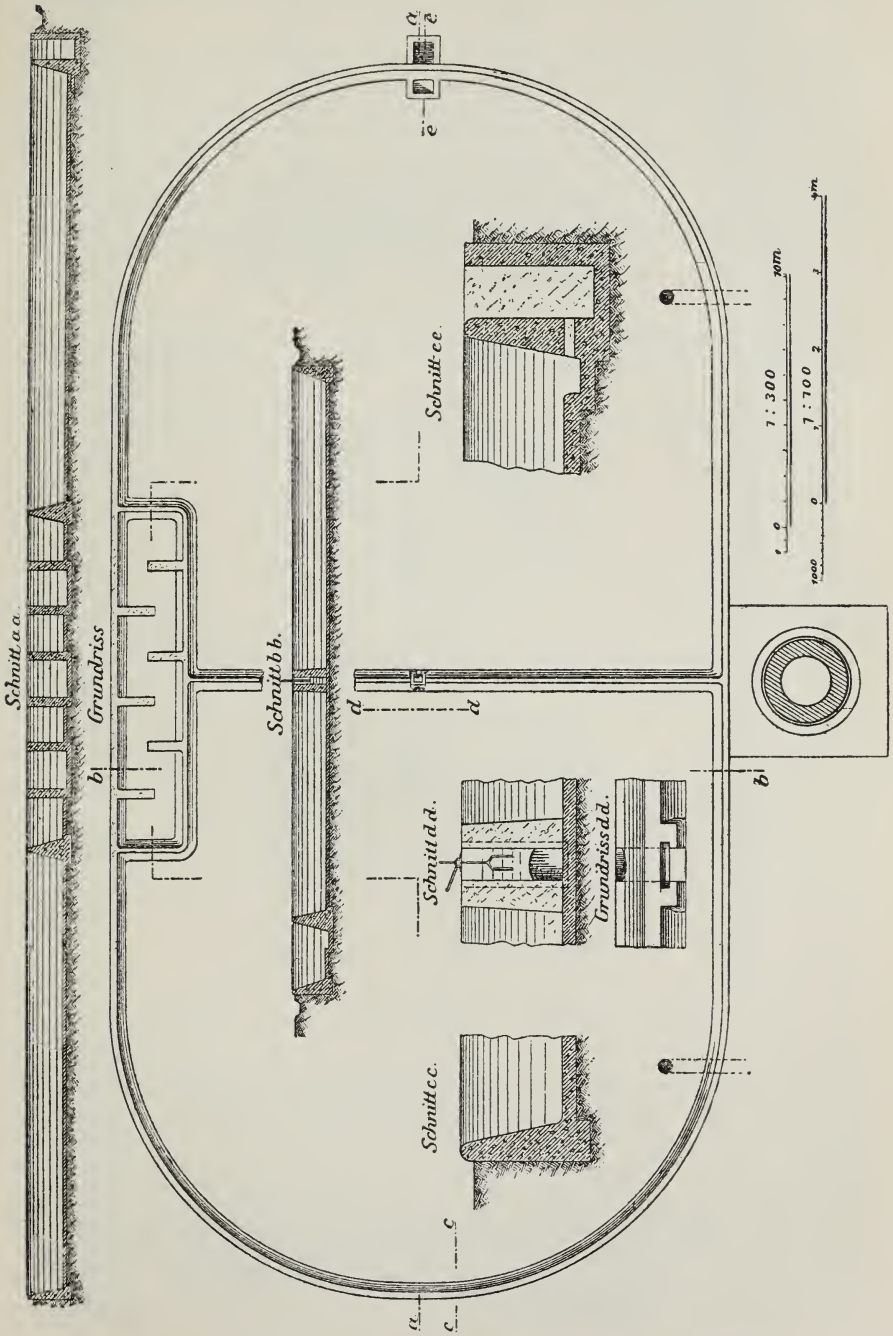


Abb. 224, Kühl- und Klärbassin der Voigtländischen Baumwoll-Spinnerei zu Hof i. S.

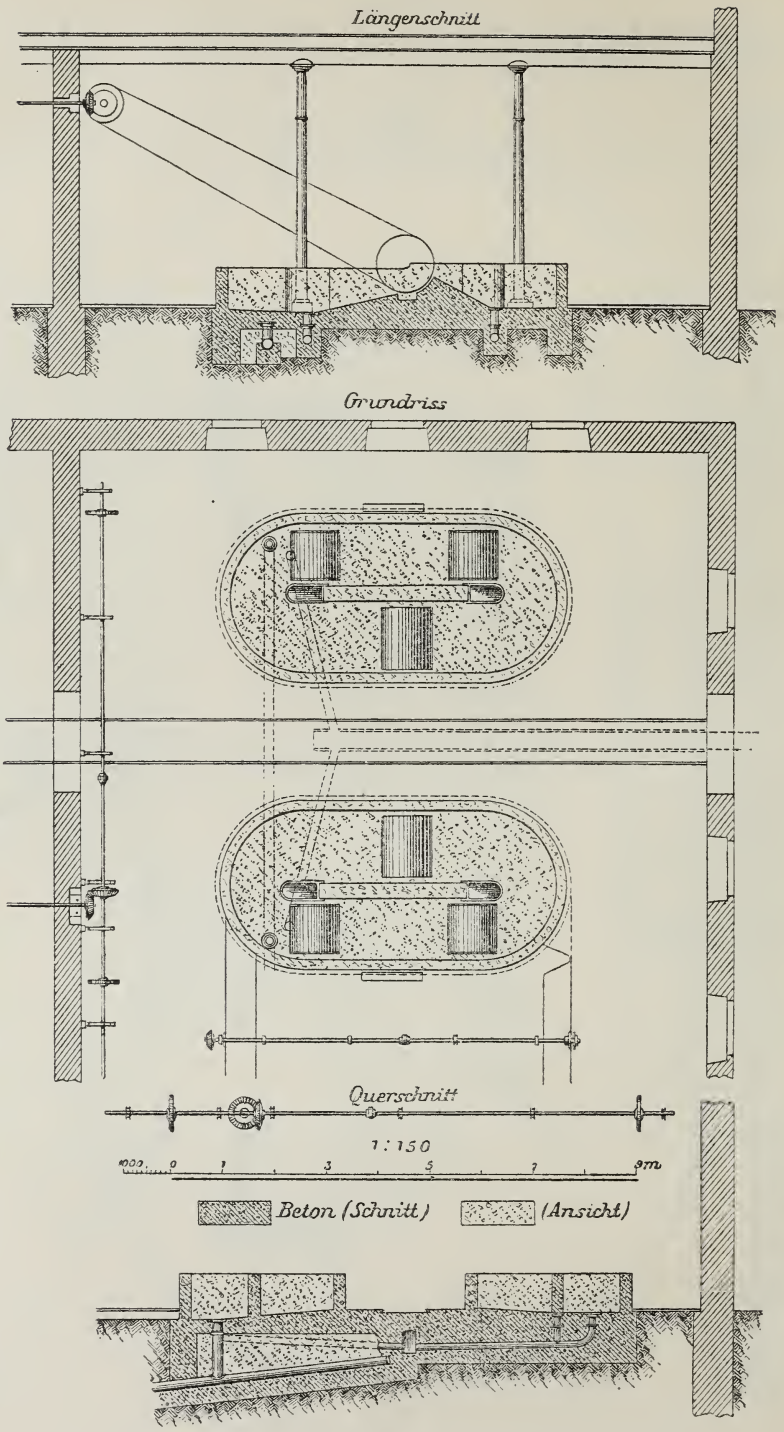
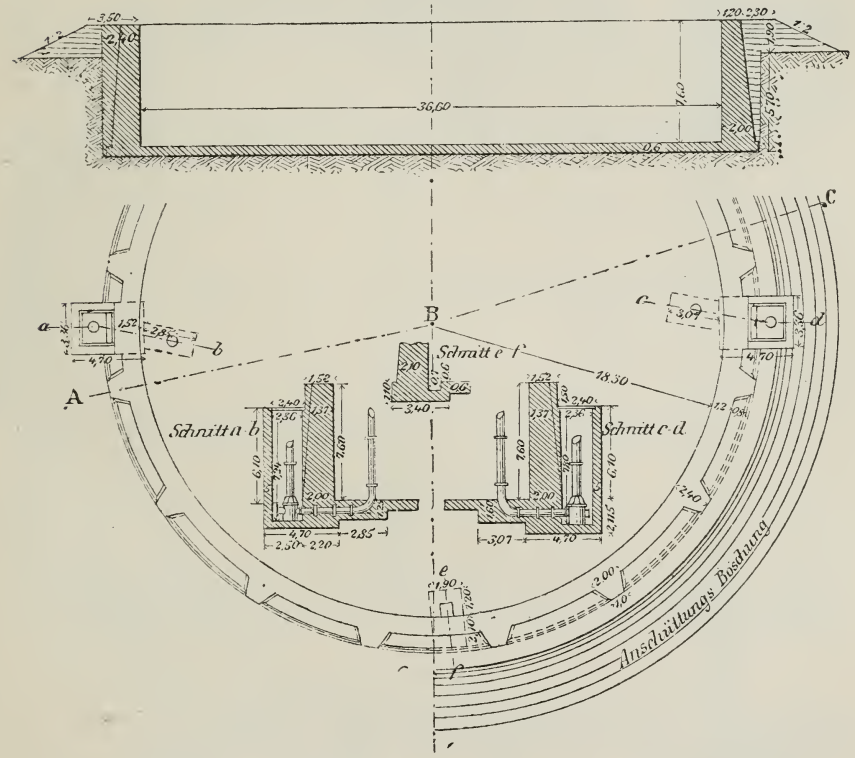


Abb. 225, Holländer-Anlage in der Stroh-Raffinerie der München-Dachauer Aktien-Gesellschaft für Maschinenpapier-Fabrikation in Dachau.

Abb. 226 und 227 giebt Grundriss und Schnitt des im Jahre 1886 für die Stadt Wiesbaden erbauten Gasbehälter-Bassins, dessen Fassungsraum rd. 8000 cbm beträgt. Die Kosten haben für 1 cbm 7,66 M. betragen.

Das Bassin des Gasbehälters zu Dresden, Abb. 228, bei 42,7 m Durchmesser und 9,3 m Höhe, eines der grössesten bisher ausgeführten, ist im Jahre 1889 erbaut worden. Kosten — abgesehen von den Erdarbeitskosten — etwa 160 000 M. Die Glocke ist teleskopirt, doch nicht umbaut und fasst bei vollständiger Füllung, wobei ihr Scheitel 24 m über dem Hof der Gasanstalt liegt, 22 000 cbm Gas, ist daher wohl eine der grössten teleskopirten Glocken, welche bisher in Deutschland zur Ausführung gekommen sind. Der Untergrund

Abb. 226, 227, Gasbehälter-Bassin zu Wiesbaden.



ist zwar Sandboden, der aber durch Wasser leicht in Bewegung gesetzt wird. Dieserhalb waren, um die Sohle mit Sicherheit für den Erfolg betoniren zu können, umfangreiche Drainage-Arbeiten nothwendig. Die Betonirung hat die Zeit von etwa $4\frac{1}{2}$ Monaten erfordert, und dann hat der Behälter den Winter über unter einer Bretterbedeckung gestanden, bis im Juli des nächsten Jahres die Wasserfüllung erfolgte, welche 12 Tage beansprucht hat. Die Sohle bildet ein umgekehrtes Gewölbe mit 60 cm Stich. Der Ring ist durch 16 Pfeiler verstärkt, welche, der besseren Querschnittsvermittelung wegen, trapezförmigen Querschnitt nebst Ausrundung der Ecken erhalten haben.

Abb. 230 stellt die Theerzisterne in der chemischen Fabrik Lindenhof in Hochfeld bei Duisburg dar, welche im Jahre 1885

ausgeführt worden ist. Der Fassungsraum beträgt 1100 cbm; 1 cbm kostete 19,2 M. —

Bei den Wasser-Reservoiren und ähnlich benutzten Behältern wird von der Firma Dyckerhoff & Widmann in Biebrich, welche die beiden zuletzt genannten Gasbehälter-Bassins gebaut hat, Beton in Mischungen

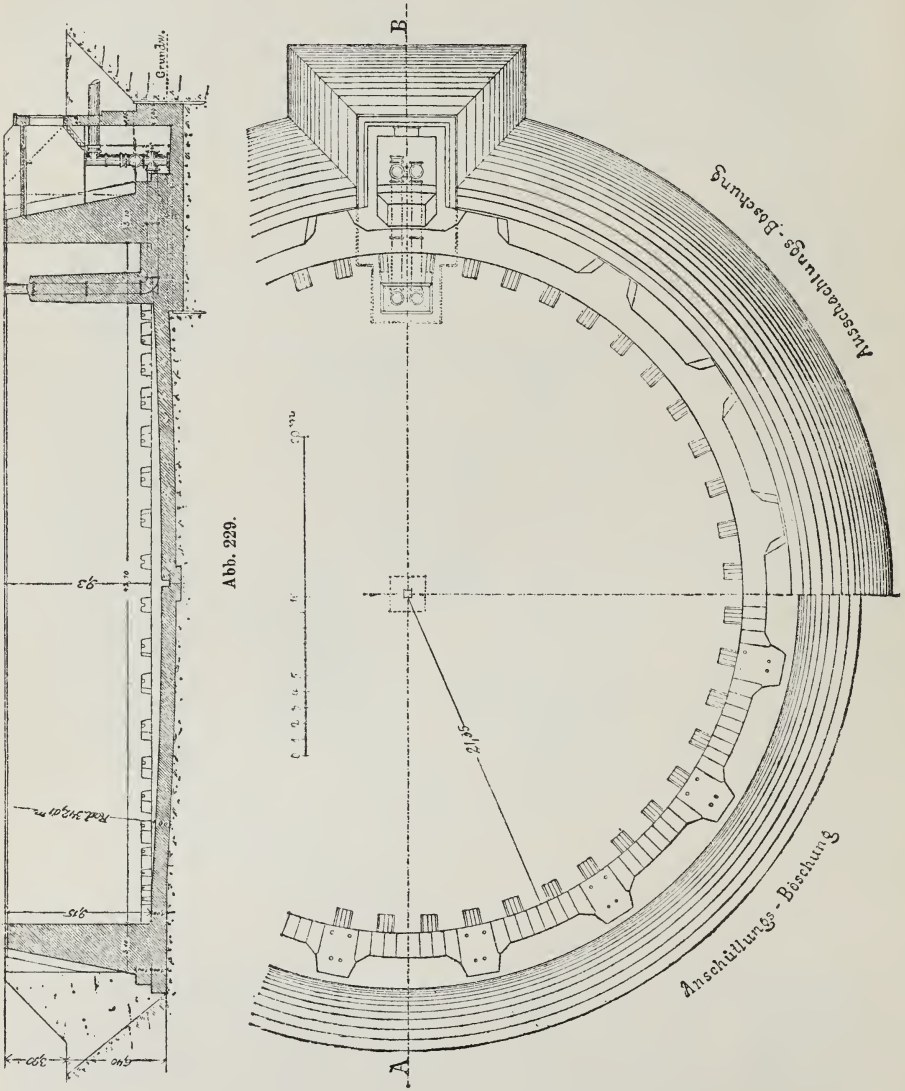


Abb. 228, 229, Gasbehälter-Bassin zu Dresden.

Abb. 229.

1 Th. Cement, 7 Th. Kiessand, 7 Th. Steinschotter bis 1 Th. Cement, 6 Th. Kiessand, 6 Th. Steinschotter verwendet. Zum wasserdichten Abputz wird Mörtel 1 : 2 bis 1 : $1^1/_2$ benutzt. —

Die vorzügliche Eignung von Beton für Eiskeller-Anlagen wird eines Nachweises an ausgeführten Beispielen nicht bedürfen; es genügt, auf dieselbe an dieser Stelle hingewiesen zu haben. —

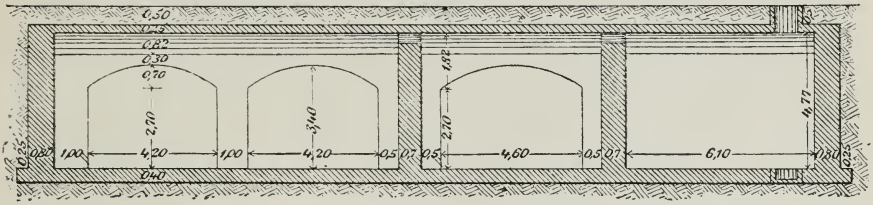
f. Beton-Gewölbe.

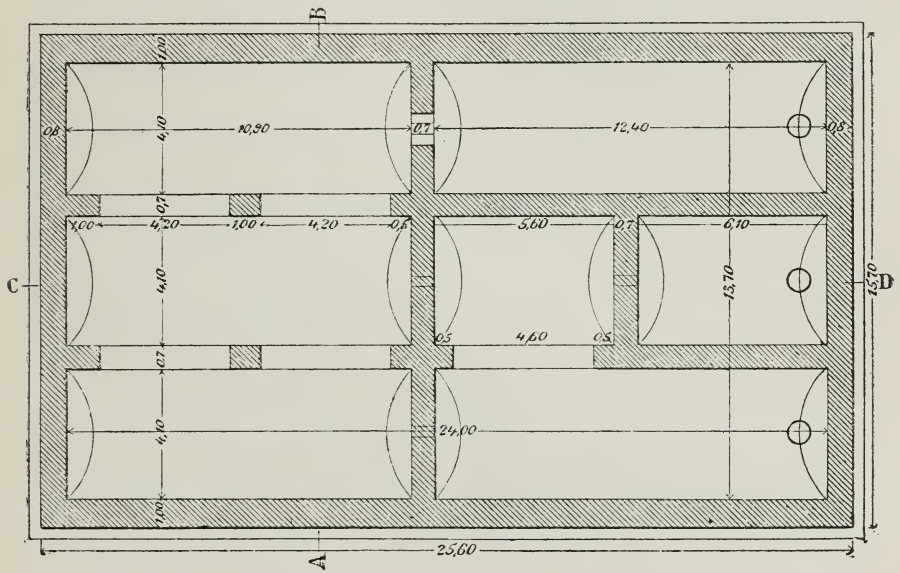
Eigenschaften, welche dem Betongewölbe Vorzüge vor dem gemauerten Gewölbe verschaffen, sind folgende:

1. Die Schwierigkeiten des Fugenschnitts, bezw. der Erzielung genau radialer Fugenrichtungen kommen in Wegfall. Weil dies der Fall und

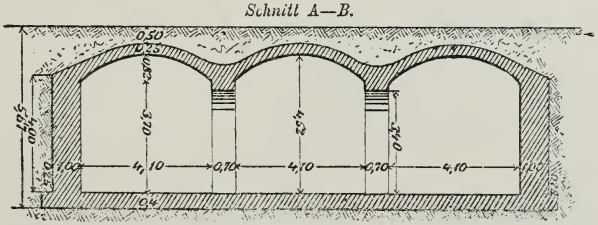
Abb. 230, Theerzisterne der Chemischen Fabrik Lindenhof.

Schnitt C—D.





Schnitt A—B.



weil man die Wölbstärke an allen Stellen genau entsprechend der daselbst stattfindenden Druckspannung machen kann, ist die Herstellung eines Betongewölbes nach der Stützlinien-Form leichter möglich, als bei einem gemauerten Gewölbe.

2. Ein nach der Stützlinien-Form hergestelltes Gewölbe wird weniger schwer als ein gemauertes Gewölbe.

3. Dasselbe bedarf keiner Hintermauerung, wodurch seine Masse ebenfalls verringert wird.

4. Auch noch weil die besondere Abdeckung fortfällt, ist die Masse des Betongewölbes im Vergleich zu der des gemauerten Gewölbes geringer.

5. Wegen der dreifachen Ersparung an Masse, ist für das Betongewölbe ein weniger schweres Widerlager ausreichend, bezw. findet eine weniger grosse Belastung des Baugrundes statt.

6. Gleiche Spannweiten lassen sich daher in Betonbau mit geringeren Schwierigkeiten und Kosten überbrücken; bezw. kann man für gleiche Kosten in Betonbau eine grössere Spannweite überbrücken als in Mauerwerk.

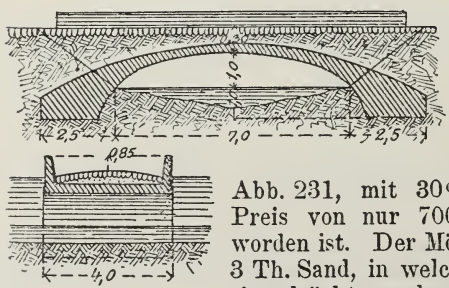
7. Sehr geringe Bauzeit.

Wo Kies in der Nähe zu haben ist, sind Betonbrücken billig; in Bezug auf Kürze der Bauzeit sind sie sogar den hölzernen Brücken überlegen. Es ist darum höchst wahrscheinlich, dass diese Bauweise in steinarmen Gegenden eine Zukunft besitzt und den Holzbau verdrängen wird; in Fällen, wo nicht überaus beschränkte Höhe den Eisenbau zur Nothwendigkeit macht, auch diesen.

Zwischen dem eigentlichen Gewölbe-Mauerwerk und dem Beton-Gewölbe bestehen Uebergangsformen. Von dem Quader- und Ziegelmauerwerk etwa gleich weit entfernt ist das Gewölbe aus lagerhaften Bruchsteinen, zwischen welchem und dem Beton-Gewölbe diejenige Form steht, bei der man die „Schichtung“ aufgiebt und die Steine unter Verwendung von viel Mörtel unregelmässig zusammenpackt, sie in den Mörtel eindrückt oder eintreibt und später abgleicht. Bei grösserer Weite werden einzelne Streifen mit radialer Richtung der Fugen eingefügt, wenn man den Fugenschnitt überhaupt nicht einigermassen regelrecht durchführt.

Brücken letzterer Art sind namentlich in Frankreich vielfach ausgeführt. Ein bekanntes, hervor ragendes Beispiel bietet der Viadukt von Chastellux, welcher bei 132,6 m Gesammtlänge sich aus Halbkreisbögen von 9,5 m Spannweite zusammensetzt und dessen Pfeiler, bei einer grössten Höhe des Viadukts über Wasserspiegel von 30 m, am Kämpfer nur 1,25 m Stärke haben, also sehr kühn aufgebaut sind. Zu ähnlicher Wölbart wie bei diesen ist man bei den Steinbrücken der neuesten Alpenbahn, der Arlbergbahn übergegangen; die grossartigste darunter bildet die Wäldlitobel-Brücke von 41 m Spannbreite, welche eine 45 m tiefe Schlucht überschreitet und aus unregelmässigen Bruchsteinen mit 1,70 m Wölbstärke im Scheitel erbaut worden ist; der aus 1 R.-Th. Kufsteiner Cementkalk und 2 R.-Th. gewaschenen Sandes hergestellte Mörtel hatte bei zuvor angestellten Proben (nach? Tagen) die Druckfestigkeit von 180 kg/1 qcm ergeben.

Abb. 231.

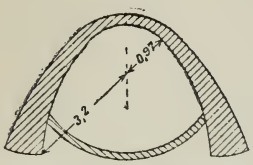


Beispiele dieser Wölbweise, in welcher dem Mörtel die Hauptrolle zugewiesen ist, bieten die im Jahre 1877 über die Lenne bei Vorwohle von Liebold erbaute, 7 m weite, 4 m breite Strassenbrücke, Abb. 231, mit 30 cm Scheitelstärke, welche für den Preis von nur 700 M. in 11 Tagen fertig gestellt worden ist. Der Mörtel bestand aus 1 Th. Cement und 3 Th. Sand, in welchen Kalksteine von 15—25 cm Höhe eingedrückt wurden.

Abb. 232 giebt den Querschnitt eines in gleicher Weise von der Vorwohler Cementfabrik erbauten Kanals von reichlich 4 m Spannweite mit einem Gesammtquerschnitt des Mauerwerks von nur 3,05 qm.

In grösserer Ausdehnung sind Wölbungen dieser Art zwischen Eisenträgern in der Stärkefabrik zu Salzuflen hergestellt worden, wo zum Einpacken in den Mörtel die von einem Brande herrührenden Bruchsteine aller Art vorräthig lagen. Die Kappen haben von 3,0—4,5 m Spannweite und Scheitelstärken von 12—15 cm bei $^1/_{13}$ Pfeil erhalten, sind aber bis zur vollen Höhe hinter- bezw. übermauert. Der Mörtel wurde in der Mischung 1 : 6 hergestellt, für Belastungen der Kappen von 1250 kg/1 qm, vereinzelt bis 4000 kg. Bemerkenswerth bei der Ausführung ist, dass auf den, von eisernen Säulen unterstützten, also durch den Gang der Maschinen in vibrirender Bewegung befindlichen Decken, u. z. unmittelbar auf den Kappen gemauerte Behälter von 1 m Höhe, welche die Stärkeflüssigkeit enthalten, stehen; dieselben sind aus Klinkern mit der Mörtelmischung 1 : 1 hergestellt und bewähren sich vollkommen.

Abb. 232.



Brücken der in Rede befindlichen Art sind in Hannover, Westfalen, Braunschweig mehrfach, auch in noch grösseren Weiten als den obigen, erbaut worden. —

Den ohne Schichtung hergestellten Wölbungen schliessen sich unmittelbar die Betongewölbe engeren Sinnes an, welchen die französischen Techniker in den Verwendungen für den Brückenbau den bezeichnenden Namen „Ponts monolithes“ gegeben haben. Sie fassen dieselben bei der theoretischen Behandlung als elastische (nicht starre) Konstruktionen auf, eine Auffassung, zu der man nach anfänglichem Schwanken auch in Deutschland übergegangen ist. Immerhin weisen die bei Belastungen von Betonbögen stattfindenden Deformationen, die Lage der Bruchfuge, die Grösse der Bruchbelastungen, überhaupt das gesammte Verhalten der Betongewölbe so eigenthümliche Erscheinungen auf, dass die theoretischen Auffassungen der bezüglichen Vorgänge noch nicht ganz abgeschlossen sind. Dies muss zum grossen Theil auch mit der relativ geringen Zahl von Fällen, in denen die Ausführung von Betonbögen auf Grundlage theoretischer Betrachtungen erfolgt, wie mit der sehr geringen Anzahl von Beobachtungen, welche über das Verhalten derselben bisher vorliegen, erklärt werden. Zumeist herrscht in diesen Konstruktionen noch die Empirie.

Professor Engesser in Karlsruhe, welcher die bei einer kleinen Anzahl von Probegewölben bei Belastungen gefundenen Ergebnisse einer wissenschaftlichen Bearbeitung unterzog[1]) spricht sich über das Verhalten von Betongewölben und deren Berechnung etwa folgendermaassen aus:

Bei statisch unbestimmten Konstruktionen (wozu auch Gewölbe gehören) lassen die Erscheinungen bei der Bruchbelastung einen sicheren Rückschluss auf die Erscheinungen bei der Gebrauchsbelastung nicht zu, da der Zusammenhang zwischen der Pressung im Gewölbe und der Deformation desselben an der Bruchgrenze ein anderer ist als innerhalb der Elastizitätsgrenze (bei der Gebrauchsbelastung).

Dies wird an den Unterschieden der, bei den betr. Probungen thatsächlich stattgefundenen und den (auf Grund der Elastizitäts-Theorie) berechneten Pressungen nachgewiesen. Rechnungsmässig betrugen dieselben zwischen 54 und 67 kg für 1 qcm; während sie nach den Ergebnissen der direkten Versuche beinahe das Doppelte, nämlich 108 kg, erreicht haben. Zum grössten Theil sei dieser Unterschied den in der Nähe der Bruchgrenze auftretenden, nicht mehr elastischen Zusammendrückungen zuzuschreiben, welche in der Elastizitäts-Theorie unberücksichtigt bleiben müssen, die daher auf diese Erscheinungen auch nicht mehr anwendbar ist.

[1]) D. Bauztg. 1881, S. 584.

Im übrigen spreche auch wohl das Alter der Konstruktion bedeutend mit. Mit der fortschreitenden Erhärtung nähern sich die Konstruktionen mehr und mehr einem Zustande, der den Voraussetzungen der Elastizitäts-Theorie entspreche und es sei daher zu erwarten, dass sich bei älteren Konstruktionen zwischen der berechneten und der wirklichen Druckfestigkeit minder grosse Unterschiede in dem Verhalten, als bei wenig alten, — wie die in Rede befindlichen es waren — ergeben würden.

Die in dem besonderen Falle und anderweit erprobte hohe Tragfähigkeit von Betongewölben erlaube es, solche mit geringem Materialaufwand auszuführen, und sie seien daher überall da empfehlenswerth, wo es auf eine möglichst leichte — und wie ergänzend hinzugefügt werden darf — billige Konstruktion ankomme. Für die Praxis werde man, wenn ruhende Belastung zu erwarten sei, nur etwa die dreieinhalbfache Bruchsicherheit — in dem betr. Falle waren dies 15 ^{kg} und $^1/_{3,5}$ der durch Rechnung gefundenen Pressungen zwischen 54 und 67,1 ^{kg} oder $^1/_7$ der bei der Druckprobe gefundenen Festigkeit des betr. Betons (von 108 ^{kg}, 1 ^{qcm}) — anzunehmen brauchen.

Bei Betrachtungen noch anderer Bogenformen zieht Prof. Engesser den Schluss, dass aus den Scheitelsenkungen bei nicht übereinstimmenden Bogenformen Rückschlüsse auf die relative Tragfähigkeit derselben nicht gemacht werden dürfen, dass aber die Betongewölbe sich im allgemeinen günstiger verhalten, als nach der Elastizitäts-Theorie erwartet werden darf und dass daher auch Zugfestigkeiten von $^1/_{3,5}$ der bei Probungen ermittelten Zugfestigkeit des Mörtels zugelassen werden können.

Zugspannung kann aber in einem Gewölbe von richtiger Konstruktion nur bei Einzelbelastung im Scheitel und bei sogen. einseitiger Belastung auftreten, u. z. unter der Voraussetzung, dass die Wölbstärke nicht gross genug ist, damit die Stützlinie innerhalb des mittleren Drittels (dem Kern) des Querschnitts sich halte. Für rationell entworfene Wölbungen bildet dies die anerkannte Regel und nur ausnahmsweise — für die allerungünstigsten, kaum oder sehr selten eintretenden Belastungsfälle, pflegt in sehr geringem Maasse auf die Zugfestigkeit des Materials gerechnet zu werden. In einem Betongewölbe auf Zugfestigkeit zu rechnen setzt indess besondere Vorsicht voraus; man braucht nur daran zu denken, wie leicht durch Erschütterungen des Gewölbes und Nachgeben des Baugrundes feine Risse in dem Gewölbe entstehen. Diese sind für Uebertragung von Druckspannungen belanglos, während sie die Fortpflanzung von Zugspannungen unmöglich machen. Sobald in Folge von Zugspannungen sich eine, auch noch so feine „Fuge“ in dem Gewölbe bildet, muss eine völlige Aenderung in der — Vertheilung der Spannungen über den Querschnitt eintreten und die Stützlinie nach der anderen Laibung (Kante) hinüber rücken, in Folge wovon auch eine Ueberschreitung der Druckfestigkeit mit der schlimmsten Folge, der Zerstörung des Gewölbes, eintreten kann. Letztere Möglichkeit freilich liegt bei der relativ hohen Druckfestigkeit des Betons in viel weiterer Ferne als die Schädigung, bezw. Zerstörung eines Gewölbes infolge unvorsichtiger Inanspruchnahme auf Zugfestigkeit.

Da noch hinzu kommt, dass das Verhältniss zwischen Zug- und Druckfestigkeit des Betons kein absolut festes, sondern in gewissen, wenn auch nicht weit aus einander liegenden Grenzen schwankt, so ersieht man, dass eine nur auf Beanspruchung durch Druck berechnete Wölbkonstruktion einen so viel höheren Grad von Sicherheit als eine unter Benutzung einer gewissen Zugfestigkeit berechnete gewährt, dass das geringe Mehr an Material, welches die erstere erfordert, sicher gut angewendet ist.

[1]) Vergl. Housselle: Der Brückenbau, im Handb. der Baukunde.

Die hier wiedergegebene Ansicht[1]) setzt voraus, dass der Pfeil des Gewölbes beim Ausrüsten keine solche Verminderung erleide, damit die Voraussetzungen der Theorie nicht mehr passen. Die „Empfindlichkeit" der Gewölbe gegen Scheitelsenkungen ist aber um so grösser, je geringer der Pfeil der Wölbung ist. Bei $^1/_8$ Pfeil hat (nach Winkler) schon die unvermeidliche Zusammendrückung des Materials eine Scheitelsenkung zur Folge, bei welcher die Stützlinie nahe an die obere Begrenzung des „Kerns" heranrückt, bei deren Ueberschreitung in dem unteren Drittel des Querschnitts Zugspannung entsteht.

Man vermeide daher bei Betongewölben von nur einiger Spannweite kleine Pfeilverhältnisse, nehme dieselben vielmehr möglichst gross. Wo das in besonderen Fällen aus äusseren Gründen unthunlich ist, beobachte man in der Konstruktion des Lehrgerüstes und beim Ausrüsten grosse Vorsicht. Das Lehrgerüst muss möglichst unwandelbar, und die Ausrüstung erst ausgeführt werden, wenn der Mörtel gut erhärtet ist, also nur noch geringe Pressbarkeit besitzt. Daneben gebe man eine so grosse Ueberhöhung, dass selbst ein unerwartetes Senken des Scheitels beim Ausrüsten die Stützlinie noch nicht aus dem Kern des Querschnitts heraus drängt und verfahre beim Belasten des Lehrgerüstes, beim Einbringen und Stampfen des Betons, ausreichend sorgsam, damit nicht Verschiebungen des Lehrgerüstes entstehen, welche die rechnungsmässige Lage der Stützlinie im Gewölbe wesentlich ändern.

Dass bei den kleinen Wölbungen und Kappen, wie sie im Hochbauwesen vorkommen, so weit getriebene Vorsicht unnöthig ist, weil hier der unvermeidliche Ueberschuss an Masse selbst gröbere Fehler usw. decken kann, bedarf kaum der Hinzufügung.

Was die Form der Betongewölbe betrifft, so ist zu beachten, dass in denselben bei der stattfindenden Gleichmässigkeit in der Vertheilung des Mörtels die Homogenität der Masse grösser als in den Steingewölben ist. Wenn man daher auf letztere die Elastizitäts-Theorie anwendet, wird man das bei Betongewölben mit um so mehr Berechtigung thun können. Dadurch sind dann auch Bogenform und Wölbstärke festgelegt, die den besonderen Belastungszuständen jedes Einzelfalles angepasst werden müssen.[1])

Mit Rücksicht auf den günstigen Ausfall von betr. Probebelastungen ist die Ansicht aufgestellt worden, dass Betonbögen im Scheitel stärker gemacht werden sollten, als nach den Widerlagern hin. Als allgemein giltige Forderung betrachtet, fehlt derselben die Begründung. Im einzelnen Falle, u. z. dann, wenn die Widerlager etwas beweglich sind, kann, wegen der damit verbundenen Lagen-Aenderung der Stützlinie im Scheitel hier eine gewisse Mehrstärke nützlich sein. Ebenso mag geringe Stärke eines Bogens am Widerlager dazu dienen, die Wechsel in der Lage der Stützlinie an den Kämpfern einzuschränken, die Lage der Stützlinie an diesen Punkten, so zu sagen, zu fixiren. Freilich ist voraus zu sezten, dass die Grösse des spezifischen Kämpferdrucks unter der zulässigen Grenze verbleibe.

Bei dem grossen Unterschiede, welcher zwischen Druck- und Zugfestigkeit des Betons besteht, und der eine hohe Empfindlichkeit der Betonbögen gegen Wechsel in der Lage der Stützlinie mit sich bringt, wie auch bei dem nur sehr geringen Grade von Elastizität, welche Betonbögen besitzen, kann es da, wo etwa wegen mangelhaften Baugrundes, oder um die Zahl der Unterstützungen zu verringern, besonders leichte Konstruktion von Wichtigkeit ist, sich empfehlen, den Bogen durch Einlegen von Gelenken in einen Träger zu verwandeln, welcher Deformationen zwanglos folgt. Eine derartige Konstruktion, in einfacher und sinnreicher Weise

[1]) Die detaillirte Behandlung eines Beispiels siehe in D. Bztg. 1886. S. 183.

durchgeführt, zeigt die Betonbrücke bei Erbach, wovon Darstellung und Beschreibung weiterhin mitgetheilt sind.

Mit Rücksicht darauf, dass es zweckmässig ist, Konstruktions-Formen zu wählen, bei denen plötzliche Wechsel sowohl in der Grösse als in der Richtung der Spannungen vermieden sind, gebührt der Form der Gewölbe mit sogen. verlorenem Widerlager der Vorzug vor der anderen, bei denen Gewölbe und Widerlager als selbstständige Bautheile erscheinen. Ist letztere Form nicht zu vermeiden, so wird es sich empfehlen, Gewölbe und Widerlager zu sondern und dabei in der Form des Kämpfers, oder durch entsprechende Einlagen (s. das Beispiel S. 259) auch der Stützlinie am Uebergange in das Widerlager eine möglichst feste Lage anzuweisen, ähnlich wie das bei eisernen Brückenträgern durch Anordnung sogen. Kämpfergelenke geschieht.

Bei der praktischen Herstellung von Gewölben ist vereinzelt so verfahren worden, dass man die Gesammtbreite in einzelne Theile (Ringe) zerlegte und jeden Ring für sich behandelte. Dies Verfahren ist fehlerhaft, weil dabei die Möglichkeit verbleibt, dass das Gewölbe die später aufzunehmenden Lasten nicht als Ganzes aufnimmt, sondern die einzelnen Ringe dabei in verschiedener Weise zur Betheiligung gelangen. Richtigerweise muss der Beton in Streifen parallel der Axe des Gewölbes eingebracht werden; die Breite dieser Streifen ist insoweit von Belang, als die Füllung möglichst rasch vor sich gehen muss, damit der Streifen in seiner ganzen Masse möglichst homogen ausfalle. Bei grösserer Wölbstärke wird man die Streifen aus mehreren, gesondert über einander zu legenden Schichten bilden, weil die Wirksamkeit des Stampfens dies erfordert; es ist wichtig, dass das Aufbringen mehrerer Schichten eines Streifens möglichst rasch hinter einander erfolge. Zur Bildung der Streifen wird eine in sich ausreichend starke, oder gut abgesteifte Bohle oder eiserne Schablone benutzt, welche auf der Schalung in geeigneter Weise durch Spreitzen oder Keile fest zu setzen ist; die zweite Seite des Streifens tritt mit dem frei liegenden Ende des fertig gestellten Gewölbetheils zusammen. Die Trennungsflächen zwischen zwei Streifen müssen radial gerichtet sein. Damit das Gerüst nicht deformirt werde muss an zwei symmetrisch zum Gewölbescheitel liegenden Stellen zugleich eingefüllt werden; oder auch es ist mit regelmässigem Wechsel der einen und anderen Seite zu arbeiten, damit die eine Seite der andern um nicht mehr als die Breite eines Streifens voraus eile.

Offene Frage ist es, ob die Arbeit zweckmässig von den Kämpfern oder von dem Scheitel aus ihren Anfang nehmen soll. Meist wird diese Frage durch die Form der Widerlager in dem Sinne zu entscheiden sein, dass der Anfang an den Kämpfern, bezw. an der Fundamentsohle der Widerlager zu machen ist. Wo die Wahl frei steht, verdient vielleicht der Beginn vom Scheitel aus den Vorzug. Denn einmal wird beim Anfang im Scheitel die Zuführung des Betons oder der Rohmaterialien erleichtert sein und sodann entfällt dabei auch die Nothwendigkeit, die Rüstung künstlich zu belasten um Deformationen des Lehrgerüstes vorzubeugen. Es wird endlich durch den Beginn am Scheitel das spätere Senkungsmaass des Scheitels beim Ausrüsten so weit als thunlich eingeschränkt. Eine Ausführungsweise dieser Art liegt bei der S. 252 erwähnten Wäldlitobel-Brücke der Arlbergbahn vor; es muss aber hinzugefügt werden, dass bei den eigentlichen Betongewölben der Beginn der Arbeit im Scheitel, wie leicht einzusehen, mit besondern Schwierigkeiten verbunden ist.

Hinsichtlich der Lehrgerüste ist grösstmöglichste Festigkeit, namentlich auch gegen Erschütterungen Haupterforderniss. Die Steifigkeit des Gerüstes wird in der Regel bei der Gerüstform mit sog. direkter Unterstützung am grössten sein; wo sich für letztere kein Hinderniss bietet, wird man sie vorziehen, zumal die direkt unterstützten Gerüste, auch was die

Scheitelsenkung beim Ausrüsten und die Kosten betrifft, gewöhnlich im Vorzuge sein werden. Immerhin braucht man die Anwendung sogen. gesprengter Gerüste nicht zu scheuen, welche insofern vor den direkt unterstützten einen Vorzug besitzen, als sie die Last des Gewölbes von vorn herein nach denjenigen Punkten der Widerlager hin übertragen, an denen dieselbe später aufgenommen werden muss. Daher findet, wo gesprengte Gerüste angewendet werden, bei der Ausrüstung kein so grosser Wechsel in der Lastenvertheilung und wahrscheinlich keine so grosse Formänderung des Bogens statt, als wenn bei der Ausführung direkt unterstützte Gerüste zur Verwendung kommen. Immerhin erfordert das gesprengte Gerüst eine weiter gehende Sorgfalt bei der Herstellung, als das direkt unterstützte.

Die zu erwartenden Senkungen beim Ausrüsten von Gewölben können annähernd nach der Formel:

$$F = a \left\{ l - p \right\}$$

zum voraus berechnet werden, worin l die Spannweite und p den Pfeil des Gewölbes bezeichnen; a ist ein Koeffizient, welchen man, je nach der Festigkeit des Gerüstes, zu 0,005 bis 0,010 annehmen soll. Da die Scheitelsenkung bis zu einem gewissen Grade auch von der Beschaffenheit des Betons, namentlich des darin enthaltenen Mörtels nach Quantität und Qualität abhängt, desgleichen auch von der etwaigen Beweglichkeit der Widerlager wird die obige Formel welche zunächst für gemauerte Gewölbe aufgestellt ist, jedoch auch auf Betongewölbe angewendet werden darf, (weil in derselben Fugenzahl und Fugenweiten nicht vorkommen), meist nur ungefähr zutreffende Zahlen liefern und muss man in Einzelfällen auf mehr oder weniger grosse Abweichungen der wirklichen Senkung von der berechneten sich gefasst machen.

Die Frage wann, d. h. wie lange nach der Fertigstellung der Gewölbe ausgerüstet werden soll, findet, was Steinbrücken betrifft, die allerverschiedensten Beantwortungen. Die Einen wollen die Ausrüstung früh vornehmen, d. h. wenn der Mörtel noch weich genug ist um bei der Setzung von den Stellen des grössten spezifischen Druckes so weit verdrängt zu werden, dass nicht an den Stellen des geringsten spezifischen Druckes Klaffen der Fugen entstehe. Die Anderen schieben die Ausrüstung bis nach vollständiger Mörtelerhärtung hinaus, von der Auffassung ausgehend, dass ein Bogen ein einheitlicher, elastischer Stab sei, dessen, bei der Ausrüstung sich ergebende Formänderung innerhalb der Elastizitätsgrenze bleibe. Diese Annahme kann nur bei erhärtetem Mörtel und zugleich solchem von hoher Druckfähigkeit zutreffend sein; sie wird durch die häufige Erfahrung bestätigt, dass mit Cementmörtel gemauerte Bögen sich weniger stark setzen, als mit anderweiten Mörteln hergestellte.

Cementmörtel erlangt einen grossen Theil seiner Festigkeit erst in den auf die Anfertigung folgenden 4 Wochen und einen anderen, kleineren, noch später. Bevor der wesentlichste Theil der Erhärtung sich vollzogen hat, zeigt derselbe ein nichts weniger als elastisches Verhalten, ist vielmehr zusammenpressbar, ohne dass beim Aufhören der Pressung die frühere Form sich selbstthätig wieder herstellte. Wenn daher die Berechnung eines Betonbogens nach Form und Querschnitt auf Grund der Elastizitätstheorie erfolgt ist, werden die Voraussetzungen dieser Theorie bei diesem Bogen nur dann erfüllt sein, wenn man die Ausrüstung desselben bis zur möglichst vollkommenen Erhärtung hinaus schiebt.

Demnach erscheint es allgemein zweckmässig, mit dem Ausrüsten von Betonbögen, je nach Mörtelbeschaffenheit, Jahreszeit, Temperatur, 4—6 Wochen lang, und unter Umständen

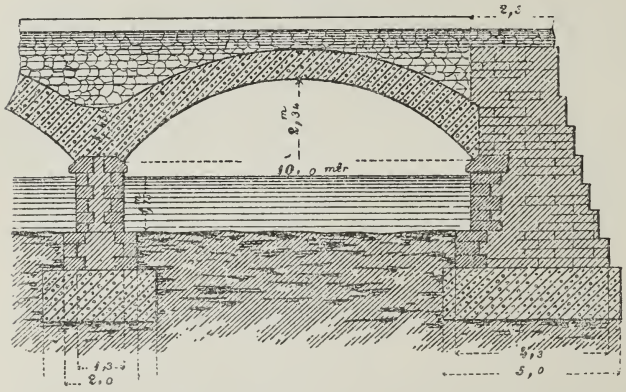
noch länger zu warten; die Frist von 4 Wochen aber nur bei zwingendsten Verhältnissen noch einzuschränken. Allerdings ist eine Anzahl von Beispielen bekannt, bei denen die Ausrüstung bereits nach 8 oder 10 Tagen stattgefunden hat. Indessen können diese Beispiele, angesichts der thatsächlichen Verhältnisse, wie sie oben dargestellt sind, nicht massgebend sein, wenigstens nicht für grössere Gewölbe.

Dass man die Ausrüstung ohne jede Gewaltsamkeit bewirken muss, um Erschütterungen, die dem Betonbogen leicht bedenklich werden können, fern zu halten, ist selbstverständlich. Auf die Einzelheiten der zweckmässigsten Ausrüstungsmittel: Schrauben und Sandtöpfe, hier einzugehen, erscheint unnöthig. Neuerdings laufen bei gemauerten Gewölben die Sandtöpfe den übrigen Ausrüstungsmitteln den Rang ab. Fabrikationsmässig werden dieselben aus Gusseisen hergestellt und zu sehr mässigen Preisen von dem Eisenwerk Lorenzdorf in Schlesien abgegeben. —

Die frühesten bekannt gewordenen Beispiele von Betongewölben liegen aus Spanien vor. Auf der Wiener Weltausstellung des Jahres 1873 waren die Zeichnungen von zwei spanischen Strassenbrücken, bezw. über den Lawale zwischen Sorio und Logrono und über den Iregua zwischen denselben beiden Orten ausgestellt; die erstgenannte Brücke ist in Abb. 233 wiedergegeben.[1]) Der 10 m weite Segmentbogen hat 0,9 m Scheitelstärke, die nach den Kämpfern hin etwas zunimmt, daher im allgemeinen sehr gross gewählt ist; die Widerlager und Pfeiler sind auf Beton gegründet, übrigens aus Bruchstein aufgeführt.

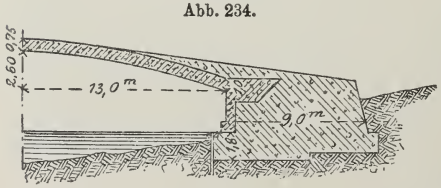
In der Schweiz und in Deutschland sind Betonbrücken erst später durch mehrere Ausstellungen, welche in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre und Anfang der 80er stattgefunden haben, im grossen Publikum bekannt geworden, wenngleich jedenfalls schon viel früher derartige Anlagen, selbst grösserer Art, für private Zwecke ausgeführt sind.

Abb. 233.



Eine der frühesten, aber sehr kühnen Konstruktionen dürfte die Brücke über den Wildbach Isère, Abb. 234, sein, welche bei 26 m Spannweite und 1/10 Pfeil 0,75 m Bogenstärke hat und deren Bogen in nur 4 Tagen fertig gestellt sein soll. Die Baukosten haben nur 24700 Franken betragen, allerdings bei sehr günstigen Verhältnissen, was Lage der Materialien-Bezugsquellen anbetrifft. Die Bögen- und Kämpfermassen sind aus bessern Betonmischungen hergestellt als die Widerlager.

Abb. 234.



[1]) Vergl. Rziha, Eisenbahn-Unter- und Oberbau. 2. Band. Wien 1877.

Nicht minder kühn, aber rationeller ausgeführt ist die Beton-Strassenbrücke bei Erbach an der Donau in Württemberg, Abb. 235. Von Vorderkante zu Vorderkante der sogen. verlorenen Widerlager beträgt die Spannweite 32 m, bei 4 m Pfeilhöhe des Bogens. Die Wölbstärke beträgt im Scheitel 0,50 m und an den Widerlagern 0,70 m. Die Brücken-Breite ist 6 m, während die Widerlagerbreite nur 3,5 m beträgt. Es kommen in dem Bauwerk rechnungsmässig Druckspannungen bis zu 30 kg / 1 qcm vor.

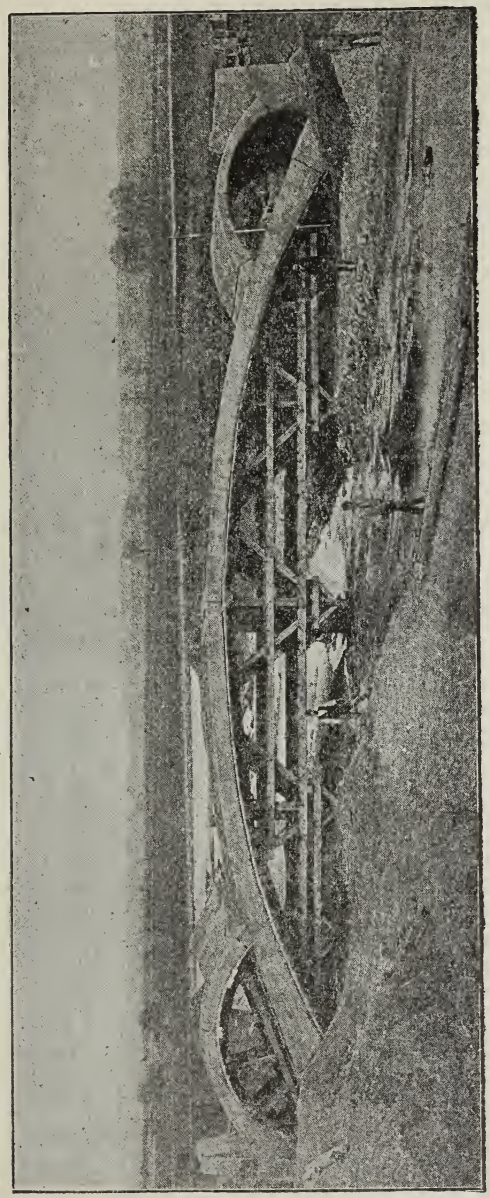


Abb. 235, Betonbrücke bei Erbach.

Bei dem etwas nachgiebigen Baugrunde hielt es der Konstrukteur, Strassenbauinspektor Koch in Ulm, geboten, durch Anordnung von Gelenken den Bogen zu befähigen, etwaigen Bewegungen der Widerlager zu folgen ohne dass Brüche entständen. Die Gelenke sind in einfachster und wirkungsvollster Weise so hergestellt, dass im Scheitel und nahe den Widerlagern Fugen gebildet wurden, in welche man Asphaltplatten einlegte; der Bogen ist dadurch gewissermaassen zu einem Dreigelenkträger gemacht worden. Die Scheitelsenkung desselben hat beim Ausrüsten 5 cm betragen; dieselbe hat sich später beim Aufbringen der Chaussirung auf 12 cm vergrössert.

Zu dem Bogen ist Portland-Cement in der Mischung 1 Theil Cement, 1 Theil Sand, 3 Theile gut gewaschener Kies, von Wallnussgrösse verwendet worden. Diese Zusammensetzung wurde nach den Widerlagern zu auf 1 Th. Cement, 1,25 Th. Sand und 4 Th. Kies, bezw. 1 Th. Cement, 1,5 Th. Sand und 5 Theile Kies (von Hühnerei-Grösse) gemagert. Zu den Widerlagern ist Romancement benutzt worden, aus 1 Th. Cement, 2 Th. Sand und 6 Th. Kies, in welche Mischung noch 1,5 Th.

Kalksteinbrocken bis 20 kg Schwere eingebettet wurden. An den sichtbaren Flächen wurde die Korngrösse des Kieses geringer genommen. Die Herstellung geschah — von den beiden Widerlagern aus — in Streifen von

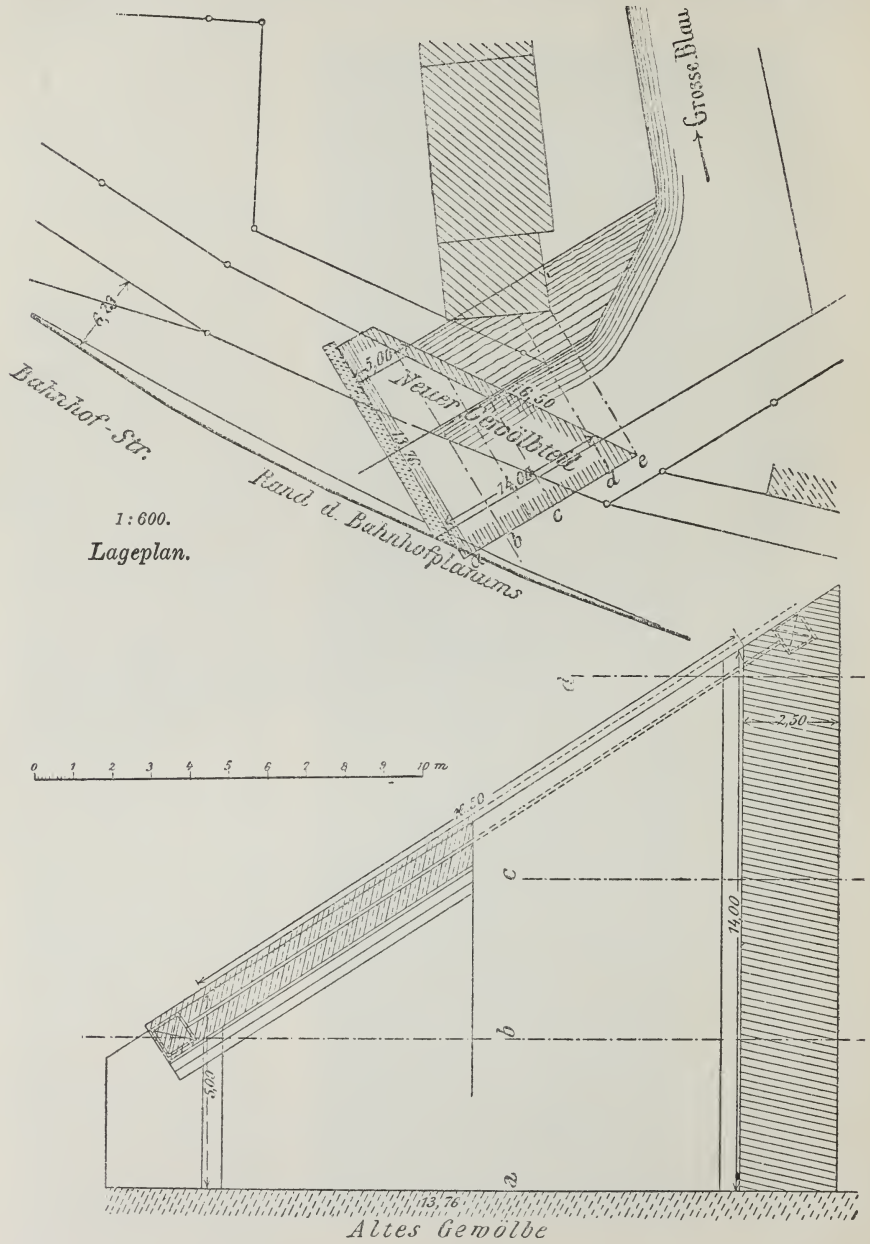


Abb. 236, 237. Betonbrücke über die Grosse Blau in Ulm.

0,8 m Breite. Vor dem freien Ende ward eine Holzwand aufgestellt, um jede Schicht stampfen zu können. Die Ausrüstung des Bogens hat erst 2 Monate nach der Vollendung stattgefunden; dieselbe ist von der Cementfabrik Gebr. Leube in Ulm bewirkt. Die Kosten betragen 12 000 M.

Vom Stadtbauamt Ulm ist neuerlichst die in beistehenden Abbildungen 236—240 dargestellte schiefe Ueberwölbung der Grossen Blau im Zuge der Hauffstrasse in Beton ausgeführt worden. Es handelte sich dabei um die Verlängerung eines bestehenden Backsteingewölbes von 13,75 m Lichtweite, 0,90 m Scheitel- und 1,16 m Wölbstärke am Kämpfer. Bei dem zugelassenen Maximaldruck von 20 kg/1 qcm berechnete sich für Belastungen mit 400 Zentner schweren Fuhrwerken und bezw. durch Menschengedränge, die Scheitelstärke des Betongewölbes zu 0,50 m, und die Stärke am Kämpfer zu 0,90 m. Der hart an der Stirn des bestehenden

Abb. 238.

Winkelrechter Schnitt zur Uferlinie.

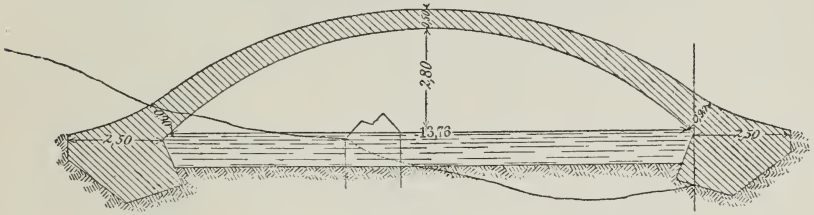


Abb. 239.

Schräge Stirnansicht.

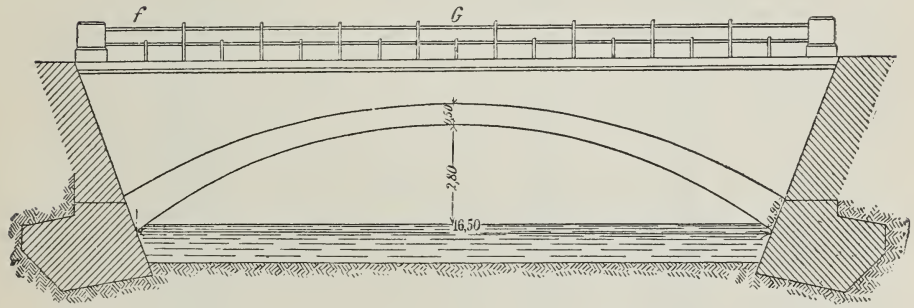
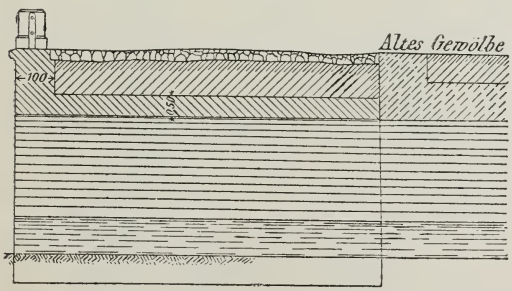


Abb. 240.



Backsteingewölbes sich bewegende Bahnverkehr bringt starke Erschütterungen für das anschliessende Betongewölbe mit sich, welche zur Vornahme besonderer Probungen des Betons Veranlassung gaben. Man formte Würfel, von denen man eine Anzahl in Ruhe erhärten liess, während eine Anzahl auf einer in Dienst befindlichen Lokomotive erhärten musste und also fast fortwährenden Erschütterungen ausgesetzt war. Nach 18—20 Tagen geprobt ergaben die in Ruhe erhärteten Würfel 136 kg und die unter Erschütterungen erhärteten 116,5 kg Druckfestigkeit für 1 qcm.

Für das Fundament ist die Mörtelmischung aus 1 Th. Cement und 12 Th. Kiessand, für die Widerlager von 1 Th. Cement und 10 Th. Kiessand

verwendet; für das Gewölbe sind in drei, von den Widerlagern aus rechnenden Abschnitten, die Mischungen 1 : 8, 1 : 6 und 1 : 4 verwendet worden; die Abdeckung erfolgte mit einer 3 cm starken Mörtelschicht. Der Beton wurde in Streifen mit rechtwinkliger Richtung auf die Stirn eingebracht.

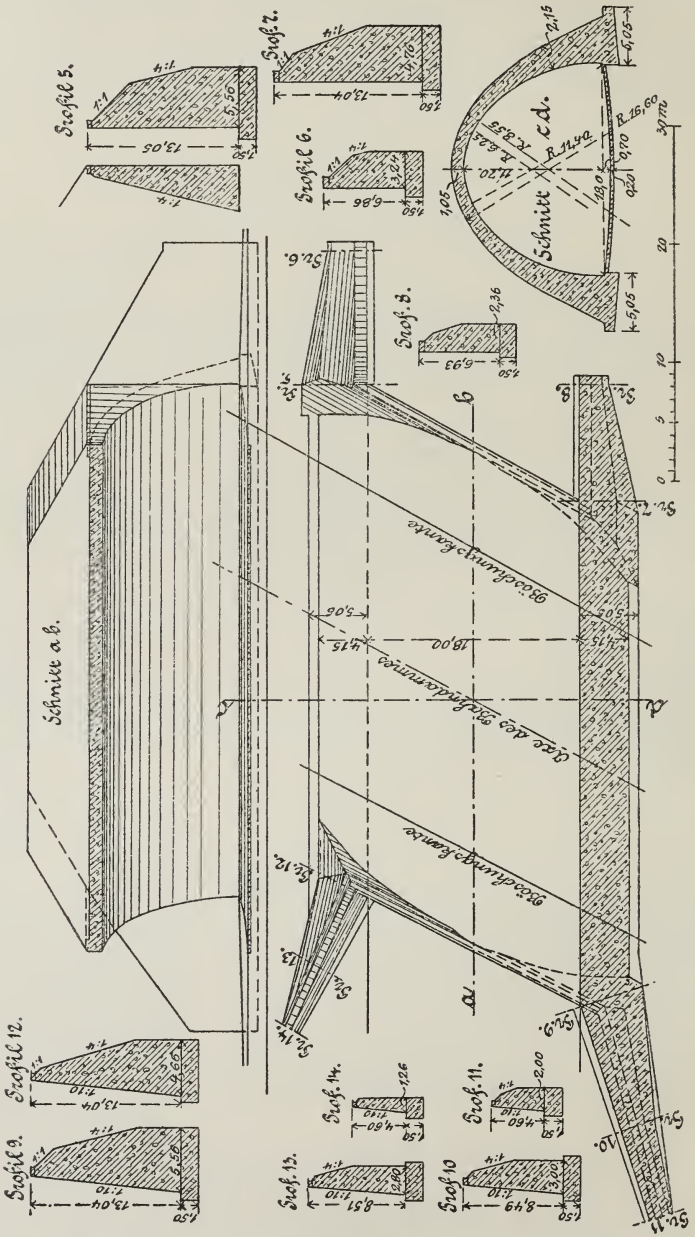


Abb. 241, Betonbrücke über die Weisseritz bei Dresden.

Die Stirn- und Flügelmauern sind in den Mischungsverhältnissen 1 : 6 hergestellt; zur Abdeckung derselben wurden Quadern der Mischung 1 : 5 verwendet; auf der Abdeckung steht ein Eisengeländer. Die Herstellung

ist in Tagelohn geschehen; die Baukosten betrugen insgesammt 10 000 M., wozu vergleichsweise anzuführen ist, dass ein Backsteinbau 13 000 M. und ein Eisenbau 15 000 M. Kosten erfordert haben würde. Bauzeit 3 Monate.

Die Abb., Gruppe 241 stellen Gesammt-Anordnungen und Einzelheiten des sehr bedeutenden Beton-Brücken-Baues über die Weisseritz bei Dresden dar, welche im Auftrage der Sächsischen Staats-Eisenbahn-Verwaltung von der Firma Dyckerhoff & Widmann in Biebrich 1891/92 ausgeführt worden ist.

Die Brücke gehört zu den Erweiterungsbauten des Bahnhofs Dresden, bei denen die Verlegung des Rangir- und Werkstätten-Bahnhofs nach der Vorstadt Friedrichstadt stattfindet. Sie liegt (nebst einer zweiten fast gleichen Beton-Brücke) unter einer hohen Dammschüttung, welche als sogen. Rangirkopf benutzt wird. Die genannte Firma wurde mit der Aufstellung von Entwürfen betraut in welcher Art und Weise die Herstellung der beiden Brücken am billigsten zu bewirken sein würde; aus diesen Ermittelungen ging der Entwurf des dargestellten Bauwerks als billigste Ausführungsweise hervor.

Die Dammschüttung über dem Gewölbescheitel beträgt im max. 5,1 m. Die Brücke hat die lichte Weite von 18 m, die lichte Höhe über der Flusssohle von 12,10 m und die Länge von 44,5 m. Die Scheitelstärke des Gewölbes beträgt 1,05 m und die Sohlenbreite des Widerlagers 4,15 m. Dabei sind die grössten Druckspannungen 17,0 kg, der Druck auf das Fundament 10,5 kg und auf den Baugrund (fester Plänerkalk) 10,1 kg für 1 qcm; Zugspannungen kommen nirgendwo vor. Die Betonmischungen bestehen für die Fundamente, sowie die Stirn- und Flügelmauern aus 1 Th. Cement, 7 Th. Kiessand und 9 Th. Schotter aus hartem Naturstein und für das Gewölbe aus 1 Cement, 6 Kiessand und 8 Th. Schotter. Im ganzen waren zu dem Bau 6 000 cbm Beton erforderlich, welche mittels Betonmaschine hergestellt sind.

Die Kosten des Baues haben rd. 167 000 M. betragen. Derselbe wurde im Herbst 1891 begonnen, bis auf Widerlagerhöhe gebracht, und — nach Ablauf der Winterpause — im Frühjahr 1892 vollendet. Abgesehen von den Verputzarbeiten hat die Arbeitsdauer 14 Wochen betragen, was einer durchschnittlichen Tagesleistung von 70 cbm Betonmasse entspricht.

Eine Brücke, deren Stirnen stark konvergiren und deren Axe schief zur Flussrichtung liegt, ein Bau also, dessen Ausführung in Eisen, Holz oder Stein einige Schwierigkeiten bereitet haben würde, ist im Jahre 1885 bei Bornhöved in der Chaussee Neumünster-Ploen in Beton hergestellt worden, Abb. 242—244. Die Spannweite desselben beträgt nur 4,3 m. Der Berechnung der Wölbstärke von 25 cm im Scheitel und 41 cm an den Kämpfern ist sowohl eine gleichmässige Belastung von 400 kg / 1 qm als die einseitige Belastung durch eine Chausseewalze von 1,4 m Breite und 7000 kg Gewicht zu Grunde gelegt[1]) worden; es findet dabei ein grösster Druck von 6 kg / 1 qcm im Gewölbe statt. Die Betonmischung war für den mittleren Theil des Gewölbes 1 Gew.-Th. Cement, 3 Gew.-Th. Sand, 3,2 Gew.-Th. Kies und 6,25 Gew.-Th. Schotter; für die Seitentheile: 1 Gew.-Th. Cement, 4 Gew.-Th. Sand, 3 Gew.-Th. Kies, 6,33 Gew.-Th. Schotter und für die Abdeckungs-Platten und Brüstungs-Mauern 1 Gew.-Th. Cement, 2,5 Gew.-Th. Sand, 2,9 Gew.-Th. Kies und 5,67 Gew.-Th. Schotter. Die Kosten des Gewölbe-Mauerwerks berechneten sich für 1 cbm zu 32,69 M. und für das Gewölbe-Mauerwerk der Stirnen zu 38,43 M. Abdeckungs-Platten stellten sich auf 58,55 M. und Brüstungs-Mauerwerk auf 85,24 M.

[1]) Hinsichtlich der Vertheilung des Druckes und der Konstruktion der Stützlinie vergl. die Quelle: Deutsche Bauztg. 1886, S. 183.

für 1 cbm; alles sehr hohe Preise, die sich aus der Oertlichkeit und aus hohen Tagelohnsätzen erklären. Die Gesammtkosten des Baues haben (bei Benutzung von Theilen der bestehenden alten Steinwiderlager) 3083 M. betragen. Die Ausführung erforderte 13 Tage; die Ausrüstung erfolgte erst $6\frac{1}{2}$ Wochen nach Vollendung des Gewölbes.

Eine ähnlich schwierige Ausführung in Betonbau liegt beim Bau der Vestnerthor-Brücke in Nürnberg vor, welche im Jahrg. 1888, Seite 274, der „Deutschen Bauztg." abgebildet und beschrieben ist. Diese aus sechs Oeffnungen bestehende 40 m lange Brücke liegt in zwei Curven von bezw. 39,50 m und 9,70 m Halbmesser der Mittelaxe und ausserdem in der Steigung von 1 : 17,2. Die Wölbungen bilden sämmtlich Theile ungleicher Kegelflächen, so dass für Wölbungen in Stein aussergewöhnliche Schwierigkeiten bestanden hätten und grosse Unbequemlichkeiten auch bei Ausführung eines Holz- oder Eisen-Ueberbaues. Die vorhandenen Stein-Pfeiler sind bis zu einer gewissen Tiefe unter Kämpferlinie abgetragen und ist der abgetragene Theil in Betonbau ersetzt worden. Die ganze Brücke, auch die Brüstungsmauern, wurden aus Beton hergestellt; die Ausführung hat nur 10 Wochen Zeit in Anspruch genommen und 10 500 M. Kosten verursacht.

Abb. 242, Betonbrücke bei Bornhöved.

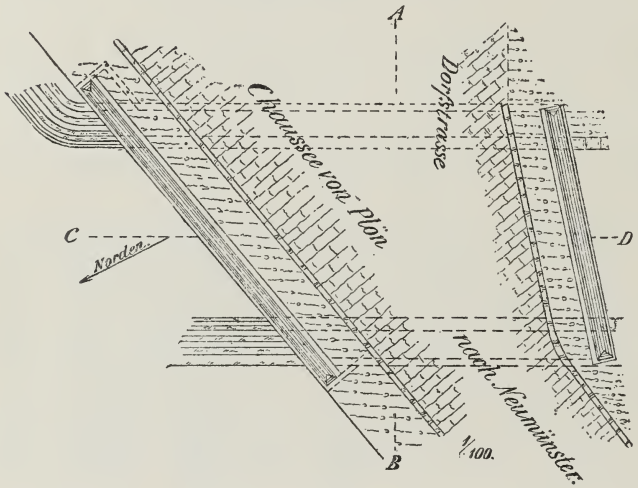


Abb. 243.

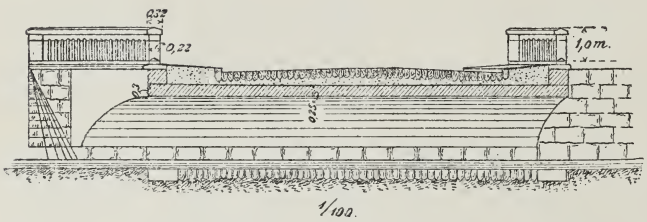
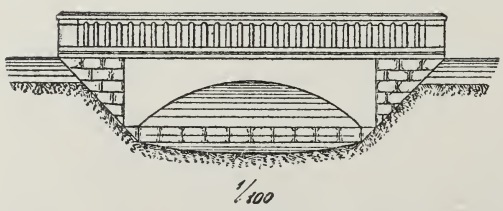


Abb. 244.

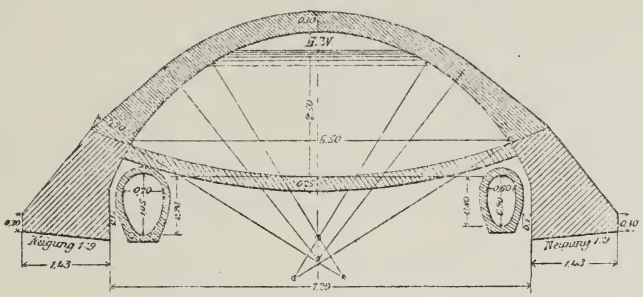


Ein für sehr hohe Belastung eingerichtetes Beton-Gewölbe ist beschrieben und dargestellt im Jahrgang 1882 auf S. 260 der „Deutschen Bauzeitung". Dasselbe trägt bei 7,15 m Spannweite und 55 cm Scheitelstärke auf jeder Stirn die Last von 42 000 kg und hat vorübergehend auf nur 0,3 qm Fläche die Last von 8750 kg (Dampfkessel-Gewicht) tragen

müssen; dauernd ist dasselbe, abgesehen von den beiden Stirnen, mit 1800 kg auf 1 qm belastet. Mischung des Betons zu dem Gewölbe: 1 Cement, 2 Sand, 5 Schotter, zu den Widerlagern: 1 Cement, 2 Sand, 7 Schotter; zur Hintermauerung 1 Cement, 2 Sand, 12 Schotter.

Die Abb. 245 zeigt die vom Stadtbauamt Chemnitz entworfene, in den Jahren 1886 und 1887 ausgeführte Einwölbung des Pleissenbachs daselbst; Länge 475 m. Unmittelbar neben den Fundamenten sind zwei Entwässerungskanäle eingelegt, deren direkte Hineinziehung in das Bachprofil wegen der festzuhaltenden Höhenlagen unthunlich war. Die Ausführung dieses Gewölbes verursachte streckenweise grosse Schwierigkeiten, da dasselbe zum Theil in bebauten und engen Strassen liegt und die Fundamente des Gewölbes dort bis 2,30 m tiefer hinab reichen als die Häuserfundamente; an einer Stelle blieb man nur 1,40 m von den Häuserfundamenten entfernt, die selbstverständlich gut abgespreitzt werden mussten. In 1 Arbeitstag konnten mindestens 4,5 m Länge des Gewölbes einschl. Fundament und Verlegen der Kanäle hergestellt werden. Betonmischung zu den Fundamenten: 1 Th. Cement, 7 Th. Kiessand, 9 Th. Schotter; zu den Gewölben: 1 Th. Cement, 6 Th. Kiessand, 8 Th. Schotter.

Abb. 245.



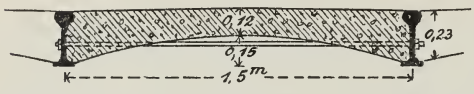
Ganz besondere Eignung besitzt Beton für Deckenkonstruktionen in Wohn- und Fabrikgebäuden und öffentlichen Gebäuden aller Art und es hat derselbe sich in den letzten Jahren auch für diesen Zweck eine dem entsprechend weite Ausbreitung verschafft. Feuersicherheit, Sicherheit vor dem Auftreten des Hausschwamms, Raschheit der Bauweise und infolge dessen Billigkeit sind die fast überall durchschlagenden Gründe für diese Erscheinung. Selbst da wo der Haupttheil der Materialien: Kies, nicht für niedrigen Preis herbei zu schaffen ist, wird bei der Geringfügigkeit der Massen, welche in den Decken enthalten ist, der Vorzug geringen Preises bestehen bleiben. Es sind aber noch andere Eigenschaften, welche den Preis der Betondecken im Vergleich zu denen von Holzbalken-Decken herabziehen. Betondecken haben geringere Dicke als Holzbalken-Decken; man kann sie vollkommen tragfähig in 50—66 Prozent der Höhe der letzteren herstellen, was bei einem Gebäude von 15 m Höhe eine Ersparniss von etwa 0,75 m am Höhenmaass ausmacht und es ermässigen sich dementsprechend die Kosten der Umfangs- und Scheidewände desselben. Man ist ferner unabhängig in der Disposition der (eisernen) Balkenlagen, ein Vorzug, der insbesondere da von grosser Bedeutung sein kann, wo in den Wänden Röhren für Heiz- und Lüftungszwecke angeordnet sind, welche für eine zweckmässige Anordnung hölzerner Balkenlagen oft grosse Schwierigkeiten bereiten. Weiter noch ist die Betonkappe oft ein besonders solider Bautheil im Vergleich zu der gemauerten Kappe, welcher, wenn bei geringer Weite nicht Formsteine benutzt werden, oder ein schwieriges Behauen der Ziegel stattfindet, an der Solidität nicht selten zu wünschen übrig lässt. Und

endlich mag, wiederholt, als Vorzug des Betons angeführt werden, dass er in der Formgebung die erdenklichste Freiheit gewährt: Während bei Mauerkappen gewisse Grössen des Halbmessers der Wölbung weder unter- noch überschritten werden können, ist es möglich, mit Beton sowohl stark als ganz schwach gewölbte Kappen herzustellen und selbst zu geraden Kappen (Platten) überzugehen. Die sogen. Spiegelgewölbe aus Gips und die scheitrechten Gewölbe aus Stein wird man in Zukunft — solider als bisher — in Beton herstellen.

Die diesen Vorzügen gegenüber stehenden Mängel der Betonkappen sind sehr gering und ohne Schwierigkeiten unschädlich zu machen. Es handelt sich dabei einerseits um Geräuschbildung, welche bei Betondecken vermöge ihrer grossen Dichte und Starrheit begünstigt erscheint, als andererseits um Ausschläge der Alkalien des Cements, welche aufgetragenen Putz und Farben schädigen können. Gegen den ersten Uebelstand kann durch Aufschüttung einer schwachen Sandschicht auf die Betonkappe vorgekehrt werden. Und gegen Flecken- usw. Bildung giebt es ausser den auf S. 67 ff. angeführten Mitteln andere, wie z. B. isolirte Ueberzüge usw., welche den vollkommensten Schutz gewähren, ohne gerade kostspielig zu sein.

Betondecken zwischen Eisenträgern werden nur ausnahmsweise anderswo als in geschlossenen Räumen vorkommen. Ein solcher Fall kann aber z. B. bei kleinen Wasserläufen oder unterirdischen Kanälen bei so hoher Sohlenlage eintreten, dass die Profile unrationell werden würden, wenn man die Ueberwölbung in herkömmlicher Weise der Länge nach ausführen wollte. Dies zu vermeiden, legt man in angemessenen Abständen quer über die seitlichen senkrechten Fassungen Eisenträger, zwischen denen man mit geringem Pfeil wölbt. Eine in Meerane ausgeführte Probewölbung nach Abb. 246, bei welcher die freie Länge der als Träger benutzten Hartwich-Schienen 3,5 m und das Mischungsverhältniss des Betons 1 Th. Cement, 2,5 Th. Sand und 5 Th. Schotter war, hat folgende Probe-Belastungen ausgehalten: a) Einseitige Belastung des Gewölbes von 10 200 kg, b) Ueberfahren eines Wagens mit 2700 kg Belastung der Hinterachse; c) Belastung wie zu b) und gleichzeitige Belastung jedes Stirnendes mit 3150 kg. Erst bei der Probe d): Herabfallen eines Rammbärs von 23,5 cm Durchm., 190 kg Gewicht aus 2,5 m Höhe wurde das Gewölbe glatt durchschlagen. Diese Proben sind sehr weit getriebene, welche über diejenigen, die bei der praktischen Benutzung der Bauwerke eintreten, hinaus gehen.

Abb. 246.

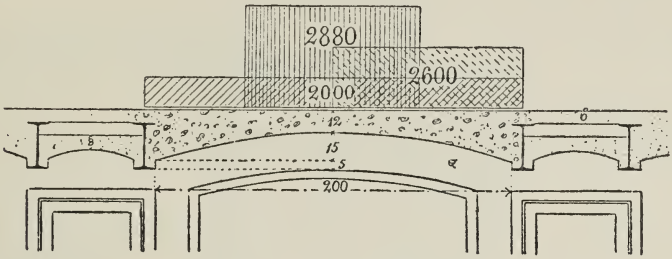


Das Ergebniss des letzten Versuchs kann dazu benutzt werden, um angenähert die in dem Gewölbe zur Wirkung gelangte Scherfestigkeit des Betons zu berechnen. (Vergl. S. 96 ff.) Unter der Annahme, dass die Durchschlagung des Gewölbes schon bei 2 m Fallhöhe des Rammbärs eingetreten sein würde, berechnet sich der „Falldruck“ auf 2977 kg und da die abgescherte Fläche $23{,}5 \cdot 3{,}14 \cdot 12 = 885$ qcm ist, so ergiebt sich die Scherfestigkeit für 1 qcm zu $\frac{2977}{885} = 3{,}36$ kg, eine Zahl, die sich auf $\frac{3{,}36 \cdot 2{,}5}{2{,}0} = 4{,}20$ kg erhöhen würde, wenn man annimmt, dass zum glatten Durchschlagen des Gewölbes keine kleinere Fallhöhe als 2,5 m erforderlich gewesen sei und auf $3{,}36\ \frac{1{,}5}{2{,}0} = 2{,}51$ kg vermindern würde, wenn man etwa die Annahme machte, dass zum glatten Durchschlagen schon die Fallhöhe

von 1,5 m genügt hätte. Das Ergebniss der Probe macht es wahrscheinlich, dass die Scherfestigkeit irgend einen Werth zwischen den beiden Grössen 2,5 und 4,0 kg hatte.

Die Anordnung einer anderweiten Belastungsprobe eines Betongewölbes zeigt Abb. 247, welche von Wagner in Mainz ausgeführt ist.[1]) Die dargestellte Lastenvertheilung bezieht sich auf ein Längenstück des Gewölbes

Abb. 247.



von 1 m; das Gewölbe hat diese Belastungen ausgehalten ohne Schaden zu erleiden, die Probe ist daher ohne ein bestimmtes Ergebniss darüber geblieben, eine wie grosse Belastung das Gewölbe nicht getragen haben würde. Aus den Lasten, welche aufgebracht worden sind, berechnet sich im übrigen eine Druckspannung für 1 qcm im Scheitel des Gewölbes von 18,1 kg und eine Scherfestigkeit daselbst von rd. 4,0 kg. Die Betonmischung war 1 Th. Cement. 3 Th. gewaschener Sand und 7 Theile Kohlenschlacken bis Hühnereiergrösse.

Von der Firma Diss in Düsseldorf ist die in Abb. 248—251 dargestellte Konstruktion des rd. 12000 qm grossen Arbeitsbodens in der Gera-Greizer Kammgarn-Spinnerei hergestellt worden. Dieser Arbeitsboden ruht auf 950 niedrigen Pfeilern zwischen welchen 480 Gurtbogen gestreckt worden sind; auch die Pfeiler und Gurtbogen bestehen aus Beton. Wie der Arbeitsboden ist auch die, gleichzeitig das Dach bildende Decke der Arbeitssäle in der Grösse von rd. 17000 qm zwischen leichten Eisenträgern in Beton hergestellt worden. Die Abbildungen lassen die Einzelheiten der Konstrucktionen erkennen. Die ganze Ausführung hat nur die Zeit von 4 Monaten erfordert; um dies zu erreichen, mussten Betonmaschinen benutzt werden.

Bei rationell angelegten Betondecken sind ausser den von dem Mischungsverhältniss abhängigen Kosten des Betons auch die Kosten der Eisenträger in Betracht zu ziehen. Denn die fettere Betonmischung erfordert weniger Stärke des Gewölbes als die magere; letztere ist daher schwerer und bedingt Eisenbalken von grösserer Schwere, event., bei gleicher Schwere, dichtere Lage der Balken. Es ist daher unrationell, Betondecken in der Weise herzustellen, dass man die Mischung zu den Zwickelausfüllungen ebenso fett und ebenso schwer macht als zu dem Gewölbe; vielmehr wird man, um ökonomisch zu arbeiten, die Zwickelausfüllungen wenn die Eisenträger nur einige Höhe haben, aus magerem porösem Beton von möglichst geringem Gewicht herstellen müssen. Selbstverständlich muss der Beton aber so zusammengesetzt sein, dass da, wo die Decke schwer belastet wird, die Zwickelausfüllung noch die nöthige Festigkeit, wie auch das erforderliche

[1]) D. Bztg. 1890. S. 47.

Gewicht erreicht. Vielfach wird zu den Zwickelausfüllungen ein mit leichten Kohlenschlacken angemachter magerer Cementbeton, oder auch Kalkbeton, ohne Cementzusatz benutzt. (Ueber das Einheitsgewicht von Beton verschiedener Mischungen vergl. die Angaben auf S. 98.)

Abb. 248—250, Arbeitsboden in der Gera-Greizer Kammgarn-Spinnerei.

Grundriss. Abb. 248.

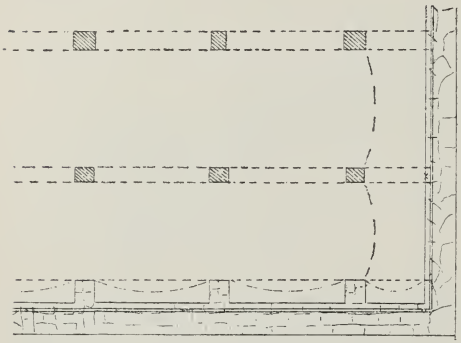
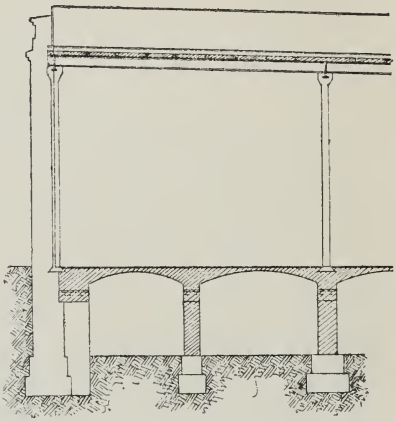
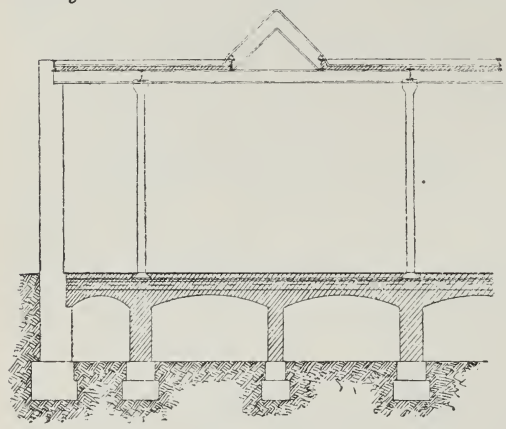


Abb. 249. *Querschnitt.*



Längenschnitt. Abb. 250.

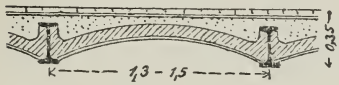


Aus Ueberlegungen solcher Art sind die in Abb. 251 dargestellten Betondecken im Krankenhause der Diakonissenanstalt zu Karlsruhe hervor gegangen, bei denen die 1,3—1,5 m weit gelegten Eisenträger eine zwischen 3 und 6 m wechselnde freie Länge haben. Die Bogenstärke ist nur 10 cm, der Pfeil $^1/_9$, die Betonmischung 1 Cement, 2 Sand, 4 Kies. Der Beton in den Zwickeln besteht aus 1 Theil Luftkalk und 8 Th. Schlacken; wegen eines in den letzteren enthaltenen Antheils von Schwefel sind die Kappen an den Stegen der Eisenträger in die Höhe gezogen und hat die Aufsicht des oberen Flansches einen Theeranstrich erhalten. Die Untersichten der Kappen sind mit einem Gipsabputz versehen worden; auf demselben liegt ein Eichenparkett-Fussboden in Asphalt. Die Kosten dieser Decken, einschl. des Fussbodens, betragen für 1 qm 15 M., wovon 8 M. anf den Fussboden kommen. Bei Holzbalkendecken würden sich die Einheitskosten auf 13,4 M. gestellt haben.

Wenn auf Betonkappen ein Cementestrich gelegt werden soll, muss die Kappe so viel Pfeil erhalten, dass der Beton in 5—6 cm Stärke über den Oberflansch der Träger fortgeht; bei geringerer Stärke würde derselbe in sich nicht den nöthigen Halt besitzen, sondern zerstört werden. Auch bei jener Dicke ist in Folge der Vibration der Eisenträger die Entstehung

von Haarrissen über oder neben den Flanschen nicht zu vermeiden und es daher zweckmässig, den Estrich zu kerben, damit die Risse in die Tiefen der Kerben zu liegen kommen. Diesen Anforderungen entsprechen die Decken, welche im Schlacht- und Viehhof zu Chemnitz und auch sonst anderweitig vielfach ausgeführt sind, Abb. 252.

Abb. 251.



Die Abb. 253 und 254 geben Beton-Kappen mit Cement-Estrich darauf, nach der Ausführung im Erweiterungsbau des Bahnhofs-Hauptgebäudes zu Erfurt, welche aus 1 Th. Cement und 8 Th. Kiessand bestehen. Ueber umfassende Belastungsproben, welcher derartige Decken in Erfurt unterworten worden sind, ist zu vergleichen D. Bztg. 1889, S. 491; zu denselben sei hier nur kurz mitgetheilt, dass eine 2,30 m weit gespannte Korridor-Decke auf 1 qm Fläche mit 2850 kg belastet worden ist, und selbst als neben der Belastungsstelle Schläge mit schwerem Hammer auf die Decke gegeben wurden, unbeschädigt blieb.

Abb. 252.

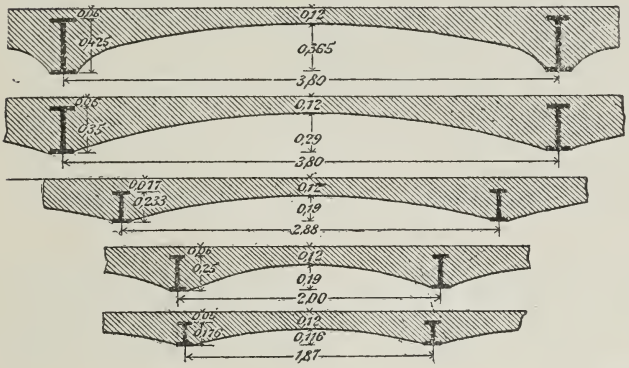


Abb. 253.

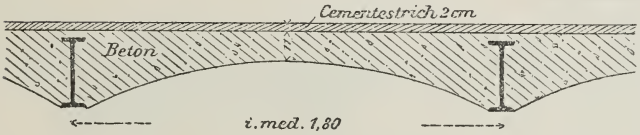
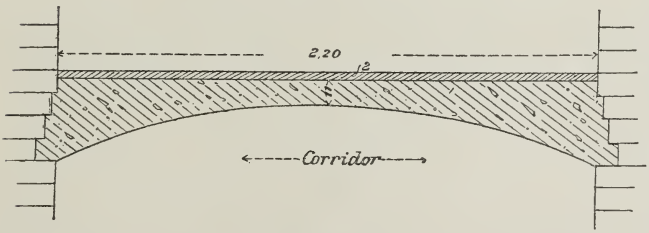


Abb. 254.



Im neuen Gewandhause zu Leipzig sind die Decken- und Fussboden-Konstruktionen nach der besonderen Weise, Abb. 255, 256, hergestellt. In die auf den Unterflanschen der Träger ruhende ebene Betonplatte von 8 cm wurden zum Befestigen des Rohrputzes Latten von trapezförmigem Querschnitt eingebettet, und über denselben, um die dadurch bewirkte Verschwächung der Platte wieder auszugleichen, eine kleine Verstärkung der Platte ausgeführt. Die Feldereintheilung ist 0,85 bis 0,90 m. Die Betonmischung bestcht aus 1 Th. Cement, 3 Th. Sand und 3 Th. Kies, bezw. Ziegelstein-Schotter, ist also sehr fett. Mehrfach wiederholte Belastungen von $0{,}5 \times 0{,}5$ m grossen Flächen zwischen den Trägern ergaben ein Bruchgewicht dieser Decken von 8000 kg auf 1 qm. Trotz

dieses ganz normalen Ergebnisses hielt man, in sehr weit getriebener Vorsicht, eine unmittelbare Belastung der Platten durch den Fussboden nur in geringem Grade zulässig und vermied es, dem entsprechend, auch, die Platten durch den Fussboden in unmittelbarer Weise zu belasten. Dies ist so geschehen, dass die zwischen die Träger eingeschobenen kurzen Lagerhölzer neben den Stegen der eisernen Träger auf hölzernen Keilen gelagert und ausserdem nur in dem mittleren Theil der Kappe unterstützt worden sind. Da die Mehrhöhe der Lagerhölzer, welche in die Felder „eingeschoben" sind, über die Höhe der eisernen Träger hinaus, zu 6 cm angenommen ist, konnten die Fussboden-Dielen auch über den Eisenträgern genagelt werden, was einen gewissen Vortheil bietet. Die ganze Konstruktion ist zwar sehr durchdacht, aber doch mit einem gewissen Uebermaas von Vorsicht behandelt und dadurch unnöthig komplizirt ausgefallen.

Nach heutiger Kenntniss der Tragfähigkeit von Betondecken würde man der Sicherheit halber nicht mehr zu einer so komplizirten Konstruktion greifen, vielmehr den Fussboden von den Kappen unmittelbar tragen lassen. Es scheint indess, dass in dem vorliegenden Falle ausser den Rücksichten auf Sicherheit auch solche auf die Akustik des Hauses zu dem Entschlusse, den Fussboden hohl zu legen, mitgewirkt haben.

Abb. 255, 256.

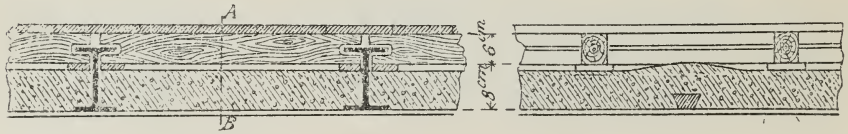


Abb. 257 a.

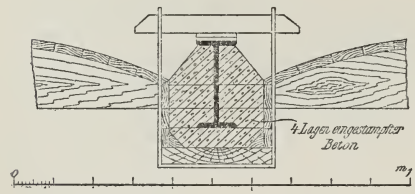
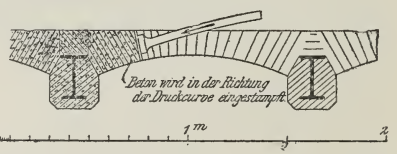


Abb. 257 b.



Eine Betondecken-Konstruktion für schwere Belastung, welche auch mit besonderer Rücksicht auf Feuerschutz hergestellt ist, zeigen die Abb. 257 a und b, welche die Decken-Konstruktion und deren Ausführungsweise in dem an Stelle eines durch Feuer zerstörten, wieder erbauten Lagerhauses in der Kaiserstrasse zu Berlin darstellen.

Die totale Zerstörung des alten Lagerhauses am 2. Oktober 1887 bildete einen Fall, der in Fachkreisen ganz besondere Aufmerksamkeit erregte, weil der Bau zu den sogen. „feuersicheren" gehörte. Die Decken desselben bestanden aus Ziegelsteinkappen, zwischen Walzeisenträgern, welche auf gusseisernen Säulen ruheten und einen Asphaltestrich trugen. Die Umfangswände und ein paar kleine innere Scheidewände waren massiv, und das Dach hatte Holzcementdeckung. An dem ganzen Bau kam also kaum etwas vor, was im landläufigen Sinne des Worts als verbrennlich gelten konnte.

Die dennoch eingetretene Zerstörung durch Feuer gab der Berliner Baupolizei Anlass zu näheren Untersuchungen über die besonderen Ursachen derselben, bei denen man u. a. ein paar wichtige darin fand, dass grosse Flächen der eisernen Unterzüge der unmittelbaren Einwirkung der Stichflamme offen gelegen und dass die gemauerten — 2,5 m weit gespannten — Kappen sehr grosse Seitenschübe auf die Umfangsmauern bezw. die Eisenträger ausgeübt hatten. Es ordnete dem entsprechend die

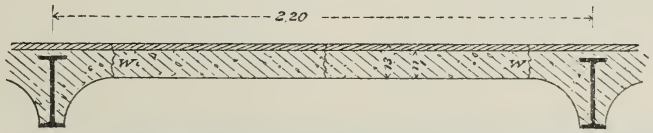
Baupolizei für den Wiederaufbau u. a. an, dass alle Eisentheile verkleidet (eingehüllt) liegen sollten und dass anstatt der gemauerten Kappen ein anderes Material, welches einen guten Anschluss an die Träger gestattet und keinen Seitenschub ausübt, „wie beispielsweise Beton- oder Monierplatten“ anzuwenden seien, unter Beschränkung der Spannweite der Kappen auf höchstens 1,5 m.

Die Eigenthümerin des Lagerhauses — eine Aktiengesellschaft — hat sich für die Ausführung der Kappen in Beton entschieden; die spezielle Ausführungsweise ist in der Abb. 257a u. b dargestellt. Darnach wurden zuerst die I Träger mit Bohlenkästen ummantelt und dann der Hohlraum zwischen Träger und Kasten mit Beton gefüllt, Abb. 257a, welche auch die Aufhängungsweise der Schalung zeigt. Die Herstellungsweise der im Scheitel 12 cm starken Kappen ist in Abb. 257b angegeben. Der Beton bestand aus 1 Th. Cement, 4,25 Th. Kiessand und 3,55 Th. Schotter. Die Ausrüstung der Kappen geschah nach 7 Tagen; eine Probebelastung mit 20 000 kg auf 1 qm nach Verlauf von $2^1/_4$ Monaten; es zeigten sich dabei nicht die geringsten Schäden an den Kappen.

Bei Vorführung dieser besonderen Konstruktion wird den früher besprochenen Vorzügen der Betonkappen noch der weitere anzureihen sein, dass dieselben, bei ihrer Wasserdichtheit, in Brandfällen das Durchtreten von Löschwasser verhüten und so die unteren Geschosse auch vor Wasserschaden schützen. —

Betonkappen von 1,115 m Weite, nur 7 cm Stärke am Scheitel und 10 cm Stärke an den Widerlagern, bei der Betonmischung 1 Cement, $^1/_4$ Kalk und 8 Kiessand sind im Gerichtsgebäude zu Frankfurt a. M. hergestellt und haben Probebelastungen von 3000 kg auf 1 qm ausgehalten.

Abb. 258.



Die herkömmliche Form der „geraden“ Balkendecke hat das Auge so sehr an diese Deckenform gewöhnt, dass Decken mit nicht ebenen Untersichten gewöhnlich als „unschön“ angesehen werden. Da nun bei nur einiger Pfeilhöhe der Kappen der Ausgleich mit Putz Schwierigkeiten bereitet, so hat man allerlei Mittel angewendet, auf leichte Weise die Betondecke in der Untersicht „gerade“ zu machen, anstatt die gegebene Feldertheilung zu acceptiren und nach einer passenden schmückenden Behandlung zu suchen. Die verschiedenen Hilfs- und Blend-Konstruktionen, mittels welcher gewölbten Decken, gerade Untersichten verschafft worden sind, können hier ausser Betracht bleiben, da sie fast alle gegen das Prinzip der Wahrheit in der Form verstossen. Frei von diesem Vorwurf ist eine in ebener Konstruktionsform ausgeführte Betondecke, welche freilich kein Gewölbe mehr, sondern eine Platte ist, auch dann kein Gewölbe, wenn, wie in Abb. 258, die Enden der hoch gerückten Platte auf die Unterflansche der Träger fussartig herabgeführt werden. Denn wenn auch ein gewisses Festklemmen, solcher Platten zwischen den Flanschen in Folge des Arbeitens des Betons stattfindet und wenn selbst bei geringer Zwischenweite der Eisenträger und einer straffen Einspannung ein gewisser Schub in der Platte auftritt (dem eine gewisse Stützlinie entspricht) so fehlt hier doch das eigentliche Kennzeichen des Gewölbes (vergl. S. 254): Die Stützlinie hält sich nicht im mittleren Drittel des Querschnitts und

es entsteht folglich Zugspannung an der Unterseite der Platte. Selbstverständlich ist hierbei an eine Stärke der Platte etwa gleich derjenigen eines ausreichend starken Gewölbes gedacht. Wenn man hierüber wesentlich hinausgeht, so kann die dann entstehende Form wohl als Wölbform — mit Hinzuthat von todten Massen in der Höhlung der Unterseite — angesehen werden. Auch solch ein plattenförmiger Körper kann als Gewölbe wirken, nämlich Schub auf die Widerlager ausüben und wird dann auch als Gewölbe zu bezeichnen sein. Doch handelt es sich hierbei um eine unrationelle Konstruktion und wird daher im Folgenden, wo Einiges über gerade Betondecken mitgetheilt werden soll, unterstellt, dass diese keine Gewölbe, sondern eigentliche Platten sind, welche nur senkrecht gerichteten Druck, aber keinen Schub auf die Auflager ausüben.

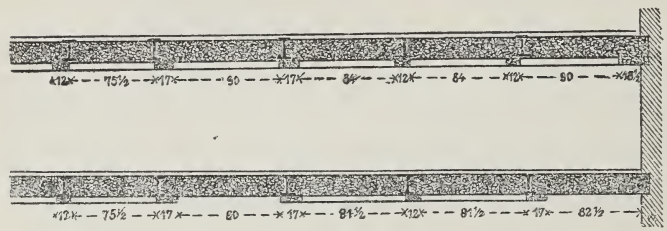
Auch wenn solche Platten eine grössere Länge erreichen, kann, Abb. 258, der Bruch bei Probebelastungen sowohl in der Mitte stattfinden, als nahe den Enden, wie sich auch bei besonderen Proben, die mit solchen Plattendecken im Hauptgebäude des Erfurter Bahnhofs angestellt worden sind, ergeben hat. Hier wird es vorwiegend die Mörtelbeschaffenheit sein (d. h. die Zugfestigkeit des Betons), wovon die Lage der Bruchstelle abhängt.

In den Werkstätten des Frankfurter Central-Bahnhofs sind gerade Decken nach Abb. 259 mit nur 8 cm Dicke der Platten von der Firma J. Odorico in Frankfurt a. M. aus 1 Th. Cement und 7 Th. Schlacken hergestellt, welche nach 4 Tagen ausgerüstet wurden. Dieselben tragen in Wohnräumen einen auf darüber gestreckten Lagerhölzern gelegten Dielen-Fussboden und in Werkstatträumen einen Cementestrich.

Abb. 259.

Bei Probebelastungen solcher gerader Decken wird, wenn die Trägerweite so gering wie hier ist, es durchaus auf die Besonderheiten der Belastungsweise ankommen, an welcher Stelle ein etwaiger Bruch entsteht. Ist die Belastung in sich starr angeordnet, z. B. durch Unterschieben steifer Lagerhölzer, so wird der Bruch nahe einem der Auflager — durch Abscheren — stattfinden, während wenn die Belastung in sich beweglich ist, der Bruch vielleicht in der Mitte — durch Biegung — eintritt. Mittheilungen über Probebelastungen, müssen daher um kontrollierbar zu sein, auch auf solche Besonderheiten der Belastung eingehen.

Abb. 260.



Eine der frühesten grösseren Ausführungen gerader Betondecken von etwa 1700 qm Ausdehnung sind diejenigen in den Logengängen des Opernhauses in Frankfurt a. M., Abb. 260. Die Unterseite dieser Decken ist kassettirt; die Herstellung der Kassetten wurde durch Auflegen von entsprechend tiefen Holzkästen auf die Schalung hergestellt; die Trägerweite wechselt etwa zwischen 0,75 und 0,90 m.

Theils mit schwacher Wölbung, theils „gerade“ sind in demselben Gebäude auch die Treppenpodeste hergestellt. Am zweiten und dritten

Tage nach der Ausrüstung sind die Podeste einer ruhenden Last von 600 kg auf 1 qm und erheblichen Fallproben mit Sandsäcken unterworfen worden, bei denen sich keinerlei Schäden eingestellt haben. Die Decken- und Podest-Stärke beträgt 10 cm.

Gleichartige Decken wie diese sind in mehreren öffentlichen Gebäuden Frankfurts, z. B. auch in der städtischen Markthalle, der Milchkuranstalt usw. ausgeführt worden und haben sich auch für sehr schwere Belastungen vollkommen bewährt. —

Mit der konstruktiven und architektonischen Durchbildung gerader Decken haben sich insbesondere die Architekten Heussner und Ludolff in Hannover befasst und sind dabei zu verschiedenen Abwandlungen gekommen, von denen nachstehend mehrere vorgeführt werden.

Abb. 261 zeigt eine an der Unterseite mit Rohrputz versehene, an der Oberseite mit Estrich und darüber mit Linoleum belegte Decke, wie sie für bessere Zimmer-Ausstattungen geeignet ist. Statt der in je 20 cm Entfernung als Putzträger eingebetteten Klötzchen können in entsprechenden Abständen auch schwache Latten eingelegt werden; doch sind diese der Gefahr des Werfens ausgesetzt, wobei die Deckenfläche uneben wird.

Abb. 261.

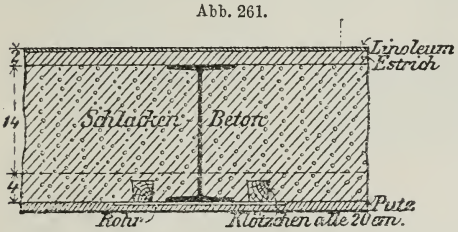


Abb. 262.

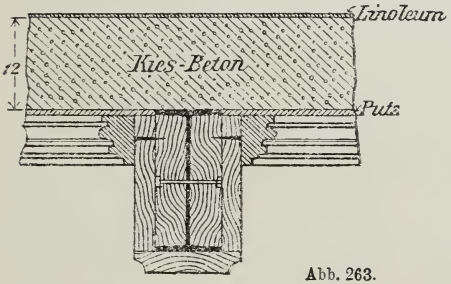


Abb. 263.

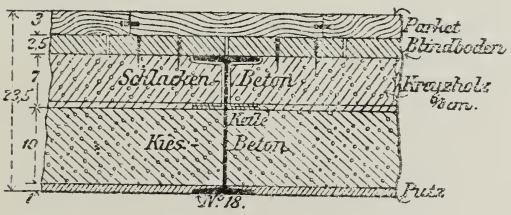


Abb. 262 zeigt die Anordnung einer geraden Betondecke auf Eisenbalken, mit dekorativer Ausstattung aus Holz und Stuck oder auch Holzleisten und einem Linoleum-Belag unmittelbar auf der Decke.

Abb. 263 stellt eine — zweitheilige — Decke für vornehme Zimmer-Ausstattung dar. Auf den Unterflanschen der Eisenträger, welche in Abständen von etwa 0,80 m liegen, ist eine — tragende — Kiesbeton-Schicht von 10 cm Dicke hergestellt und der verbleibende Theil der Höhe mit Schlacken-Beton (leichte Kohlenschlacken aus Kesselfeuerungen) aufgefüllt. Auf dieser liegt ein (genagelter) Blindboden für den darüber gestreckten Parkettfussboden. Die Nagelung des Blindbodens muss selbstverständlich geschehen, ehe der Schlackenbeton hart geworden ist. (Besser dürfte die Befestigung des Blindbodens vielleicht mit eingebetteten Mutterschrauben ausgeführt werden, die man ja auch beweglich einbetten kann, indem man nur die Löcher ausspart, um erst später die Bolzen einzustecken). An der Unterseite dieser Decke ist die Putzschicht ohne Zwischenmittel über die Träger-Unterschicht fortgeführt, was selbstverständlich nur

da angeht, wo, wie z. B. in Souterrains-Räumen, auf das gute Aussehen der Decke kein Gewicht gelegt wird.

Um Linoleum auf Beton kleben zu können, muss die Fläche vorher durch Schleifen gut geebnet werden.

Der Ausführung der Decken dieser Konstruktion gingen besondere Belastungsproben mit Platten von 1 m Seitenlänge voraus, bei denen Platten aus Kiesbeton (1 Th. Cement, 6 Th. Kiessand) 12 cm und Platten aus Schlackenbeton 18 cm stark genommen wurden, die man an den 4 Ecken unterstützte und alsdann mit je 3000 kg belastete, ohne dass sich Schäden ergaben.

Die Kosten solcher Decken stellen sich gegenüber den gewöhnlichen Holzbalkendecken nur unwesentlich (10—15 Proz.) höher.

Eine Vervollkommnung, sowohl was die Befestigung des Fussbodens, als die Anbringung des Deckenputzes betrifft, zeigt die (von Ludolff angegebene) Deckenkonstruktion nach Abb. 264. Vor Einrüstung der Decke werden an der Unterseite von Träger zu Träger einigermassen dicht starke Drähte zum Tragen des Putzes gespannt. Alsdann wird eingerüstet und die 10 cm starke Schicht aus Kiesbeton aufgebracht; hierauf folgt das Ausrüsten und das Auftragen eines rauhen Cementputzes auf die Unterseite. Noch etwas später wird die etwa 5 cm hohe Schicht Schlackenbeton eingebracht und während diese noch weich ist, auf dieselbe eine Jute-Bespannung genagelt. Letztere trägt den mittelst Klebestoff aus Käse und Kalk zu befestigenden Blindboden für das Parkett. —

Abb. 264.

In dem ganzen, für etwa 2600 Schüler eingerichteten Volksschul-Gebäude zu Sachsenhausen ist nicht ein einziger hölzener Decken-Balken in dem etwa 3200 qm Gesammtfläche enthaltenden Gebäude verwendet worden; es sind durchgehends Betondecken zwischen 12 cm hohen Eisenträgern verlegt, welche ihrerseits das Auflager auf 32 cm hohen eisernen Unterzügen finden. Da diese auf die Mitte der Pfeiler zwischen den mit 1,75 m Axenweite angeordneten Fenstern treffen, haben die Kappen die Richtung der Länge der Schul-Säle nach erhalten. Zur Schalldämpfung ist auf die Kappen eine Sandschicht gebracht, hoch genug, um in dieselbe die Lagerhölzer für den Blindboden des Parkettfussbodens einbetten zu können. In den Gängen sind die Decken in Kreuzkappen-Form, im Vestibül und Treppenhause in Stichkappen- und sonstigen Kappenformen angeordnet. In dem grossen Sachsenhausener Volksschul-Gebäude ist darnach der Betondecken-Bau mit besonderer Folgerichtigkeit (durch die städtische Bauverwaltung von Frankfurt a. M.) zur Anwendung gebracht worden.

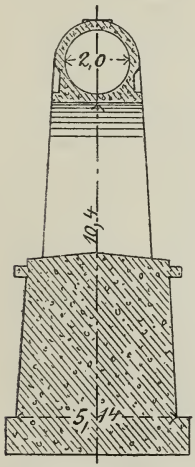
Auch im Wohnhause Goslich zu Züllchow-Stettin sind die sämmtlichen Zimmerdecken als gerade in Beton zwischen 15 cm hohen Eisenträgern hergestellt worden; sie haben die Stärke von 12 cm erhalten. Auf die Kiesbeton-Decke ist eine 5 cm starke Schicht aus einem Gemisch von Sand und Schlacke geschüttet, in welche die Lagerhölzer des Fussbodens eingebettet liegen. Unterseite des Fussbodens und die eisernen Deckenbalken sind ausser Berührung, so dass der unmittelbaren Uebertragung von Geräusch von dem einen auf den anderen Konstruktionstheil vorgebeugt ist.

Wo man nicht Holzfussboden sondern Estrich oder Fliesen anwenden will, wird man zweckmässigerweise auf der losen Sandschicht eine vielleicht 4 cm hohe Lage von sehr mageren Kiesbeton ausbreiten, welcher dann den

Estrich oder Fliesenfussboden aufnimmt. —

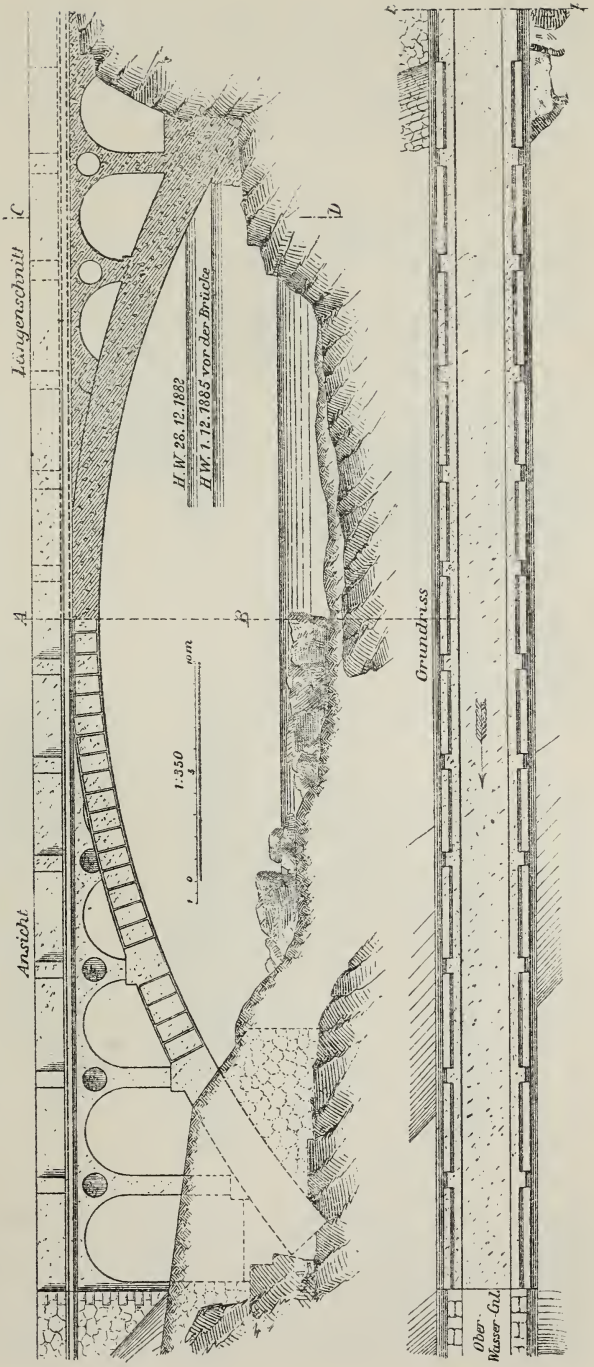
Die mit Rücksicht auf Fortpflanzung von Geräusch bei den Betondecken zu treffenden besonderen Einrichtungen sind im Vorstehenden schon mit berührt. Es bleibt

Abb. 265. Aquädukt der Vanne-Wasserleitung.



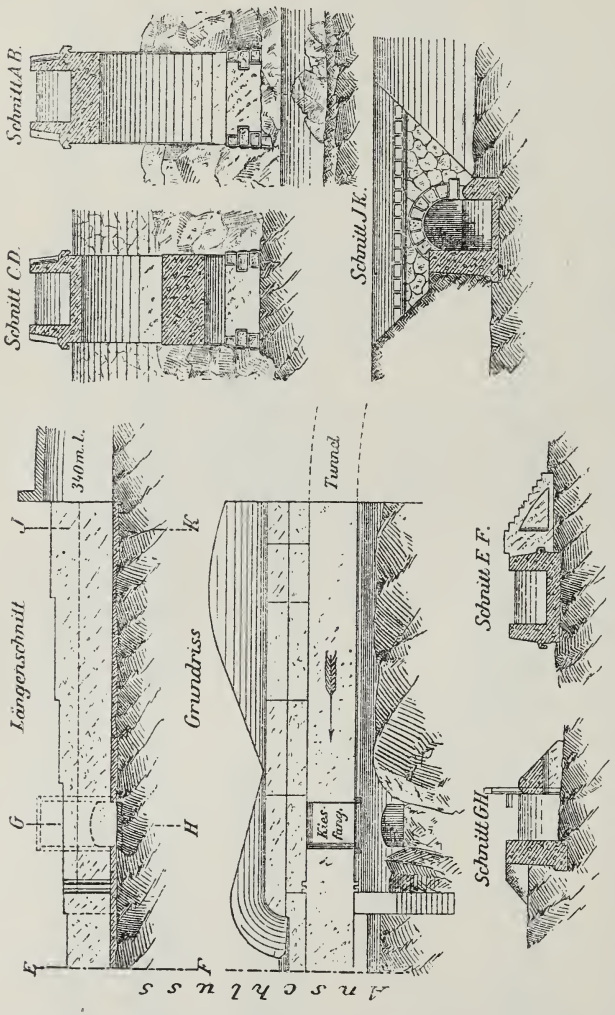
aber nachzutragen, dass um Ausschläge zu vermeiden, Kalk- oder Gipsputz auf Betondecken erst nach einiger Zeit, wo völliges Erhärten eingetreten ist, aufgetragen werden darf. Schlacke ist oft eisenhaltig, und ergiebt in solchem Falle, mit Kalk- oder Gipsputz in Berührung, ebenfalls Flecken. Es darf daher auch Schlackenbeton in besseren Räumen nicht als Putzträger benutzt werden. —

Abb. 266 und folgd. (267) Aquädukt über die Murg bei Weisenbach.



Das erste bekannte Beispiel eines Aquäduktes der unter Verwendung von Beton hergestellt ward, bietet der Aquädukt von Lima in Spanien, doppeletagig in 67 m Länge und 26 m Höhe erbauet, aber nur 4 m Breite. Derselbe trägt den offenen Kanal aus Beton mit einem Cementabputz hergestellt; nach aussen hin hat die Fassung aber eine schwache Verblendung aus Haustein erhalten.

Abb. 267.



Diese gewissermassen zaghafte Verwendung des Betons findet ihr Gegenstück bei den Bauwerken der vor etwa 20 Jahren erbauten Vanne-Wasserleitung von Paris, bei welcher der Betonbau in grossartigster Weise zur Anwendung gekommen ist. Fast die ganze 173 km lange aus einem Rohr von 2 m Weite bestehende Leitung — in welcher das Wasser druckfrei fliesst — ist, sammt den dieselben tragenden hohen Thalübersetzungen, welche die Gesammtlänge von 17 km erreichen, in Betonbau hergestellt. Eine bedeutende Uebersetzung von 20 m Höhe und darüber, findet sich im Thal der Bièvre im Süden von Paris, nahe an der Stadtgrenze, eine andere im Walde von Fontainebleau, wo ein Aquädukt von 2000 m Länge mit 2 grossen Oeffnungen von je 30 m Spannweite, 67 Oeffnungen zu 12 m und im übrigen mit 7 m weiten Oeffnungen erbaut worden ist. Die Abb. 265 giebt den Querschnitt einer 30 m weiten Oeffnung, wozu nur bemerkt werden mag, dass das Scheitelstück des Kanals als Formstück fertig gestellt und eingefügt worden ist. Die Dichtung wird im Innern durch einen bis über Wasserspiegel reichenden Abputz aus Cement von 2 cm Stärke bewirkt.

Ein sehr kühner Betonbau liegt auch in dem, in der Abb. 266 im Maassstabe 1 : 550, dargestellten Aquädukt über die Murg, bezw. das Murgthal bei Weisenbach im Schwarzwald für die Papierfabrik von E. Holtzmann & Co. in Weisenbach in Baden hergestellt, vor. Die Ausführung ist 1885 von der Firma Thormann & Schneller in Augsburg in der Zeit vom 29. September bis 23. November bewirkt. Dieselbe enthält etwa 900 cbm Stampfbeton. Der Aquädukt führt in einem etwa 60 m langen Betongerinne eine Betriebswassermenge von in max. 8 cbm in 1 Sekunde über die Murg, bezw. über das Murgthal. Er wurde der häufigen und grossen Hochwasser wegen auf Zwischenpfeilern erbaut.

h. Verschiedene Ausführungen in Beton aus dem Gebiete des Hochbaues.

Hinsichtlich der Eignung des Betons zum Bau von ganzen Häusern ist auf früher Gesagtes (S. 12 u. 185) zu verweisen. Wenn es danach bisher als wahrscheinlich anzunehmen ist, dass die Verwendung des Betons für diesen besonderen Zweck vorläufig eine beschränkte bleiben wird, so gilt dies doch nur mit Bezug auf eigentliche Wohn-Häuser. Für andere grosse Gruppen von Hochbauten, wie z. B. Werkstätten- und Fakrikbauten, Lagerhäuser, Speicher, Silos, Stallgebäude usw., steht die gute Eignung des Betons ausser Frage und kommen für sie die Bedenken ästhetischer Natur, welche gegen die Ausführung von Wohnhäusern aus Beton geltend gemacht worden sind, in Wegfall. Es ist deshalb zu erwarten, dass man für Bauten solcher Art auch in Deutschland sich in Zukunft des Betons da bedienen wird, wo die ökonomische Seite zu seinem Gunsten spricht, was an nicht gerade wenigen Stellen der Fall sein wird. Es liegt hier ein Verwendungsgebiet offen, welches der Aufmerksamkeit der Bautechniker, wie der Spezialisten empfohlen werden darf.

Von Wohnhäusern, die in Beton erbaut sind, mag hier nur ein einziges Beispiel Mittheilung finden, welches ein Haus in Holzminden für den Kaufmann Hrn. Plank betrifft; dasselbe ist in den Abb. 268 dargestellt. Das im Jahre 1877 nach einem Plan des Architekten Liebold in der Zeit von 4 Monaten hergestellte Haus ist 16,30 m lang, 15,80 m tief und 15 m hoch. Alle Konstruktionen, eingeschlossen das bogenförmige Dach, bestehen aus Beton. Bei den Deckengewölben kommen preussische, böhmische und Kreuzgewölbe-Kappen vor; in den grösseren Räumen sind die Gewölbe unter Mitbenutzung von Eisenträgern hergestellt; die Aussenmauern und einige der Innenmauern sind verankert. Ueber den Fenster- und Thüröffnungen sind Hölzer von 15 bis 16 cm Stärke eingelegt; im übrigen haben die Thüröffnungen gewöhnliche Zargen erhalten. Für die Gesimse wurden durch vorläufige Holzeinlagen entsprechende Nuthen ausgespart; die Gesimse sind nachträglich unter Mitbenutzung von Ziegeln angesetzt worden. Die Treppenstufen sind mit 5 cm starken Schieferplatten belegt. Die Dachrinnen sind aus Beton geformt. In die Betonmasse sind, wo angängig, gröbere Steine eingepackt worden. Die Aussenmauern haben 30, die Hauptscheide-Mauern 25, die übrigen Scheidemauern nur 20 cm Stärke erhalten, im Kellergeschoss durchgängig mit einem Zuschlag von 10 cm. Das Dachgewölbe ist am Fuss 30 cm stark und nimmt bis zum Scheitel bis auf 10—12 cm ab. Zu den Mauern und dem Dach beträgt die Betonmischung wechselnd 1 Cement, 4 Sand und Kies bis 1 Cement, 7 Sand und Kies. Die Treppen wurden aus 1 Cement, 2 Sand und 4 (leichten) Steinkohlenschlacken hergestellt. Desgleichen die Decken im

Innern, welche an den Widerlagern 15—18, im Scheitel 10—12 cm Stärke erhielten. Die Decken sind kurz nach der Fertigstellung mit 600 kg auf 1 qm geprobt worden ohne Schaden zu erleiden. (Genauere Angaben sind mitgeth. in Deutsch. Bauztg. 1877, S. 458.)

Der Wasserthurm für den neuen Centralbahnhof zu Frankfurt a. M. ist im Jahre 1887 bis zur Höhe des Reservoirbodens aus Stampfbeton erbaut worden. Ursprünglich hatte der Verfasser des Entwurfs, Reg. Baumeister Wittfeld, die Ausführung in Quaderbau in Aussicht genommen;

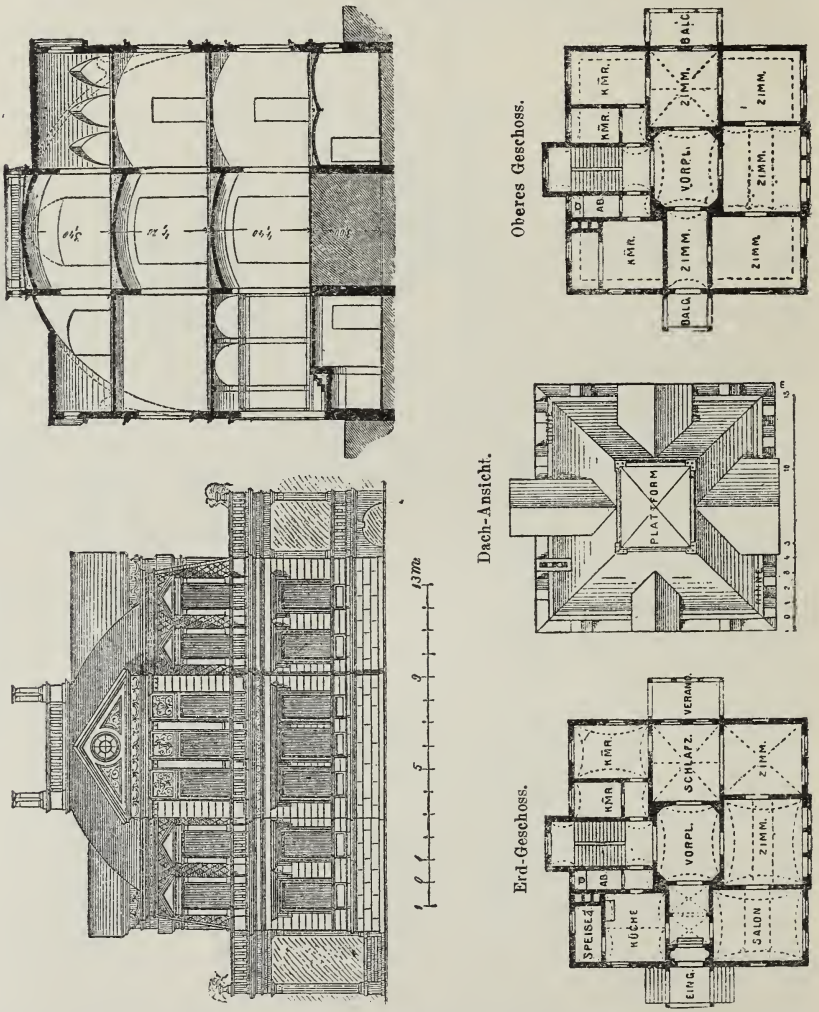


Abb. 268. Wohnhaus des Kaufmanns Plank in Holzminden.

die sehr hohen Kosten, welche durch das Erforderniss schwierig herzustellender Formstücke verursacht sein würden, veranlassten hiervon Abstand zu nehmen. Der Gedanke an Ziegelbau wurde aufgegeben, weil man mit grossen Erschütterungen sowohl als mit grosser Belastung zu rechnen hatte, da in dem unteren Raume des Thurmes die Maschinen, welche das Wasser auf 75 Atmosph. Spannung bringen, und die Akkumulatoren aufgestellt

sind. Die Ausführung des Baues ist im Jahre 1887 durch die Firma Dyckerhoff & Widmann in Biebrich erfolgt. Abb. 269—271 stellen das Bauwerk dar. Gesimse und sonstige Schmucktheile, wie auch die Sockelquadern, bestehen gleichfalls aus Stampfbeton und sind nachträglich versetzt.

Ein ähnlicher, aber noch viel höheren Beanspruchungen und Fährlichkeiten unterworfener Beton-Hochbau ist der des Leuchtthurms von La Corbière bei Jersey, Abb. 272 und 273, dessen Bau, auf einem 400 m vom Lande entfernt liegenden Felsenriff, besondere Schwierigkeiten verursachte. Die Höhe des Thurmes, bis zur Plattform gerechnet, beträgt 13,4 m; der Sockeldurchmesser ist 9 m; die Schaftdurchmesser sind 6 bezw. 5 m. Die Herstellung ist nicht in Blockbau erfolgt, sondern in Schichten mit Hilfe eines Kreissektors, welcher um eine im Zentrum aufgestellte Achse drehbar war und die Form für die einzelnen Quadern bildete, welche unter sich, sowie mit der tiefer liegenden Schicht durch Nuth und Feder verbunden sind. Die Betonmischung wurde auf eine Dicke von 5—8 cm am äusseren Umfang fetter angenommen: zu 1 Th. Cement und 3 Th. Kiessand, während sie für den hinterliegenden Theil der Dicke zu 1 Th. Cement und 6 Th. Kiessand gewählt ward. Im Interesse des besseren Widerstandes gegen Sturm sind die Gebälke und Treppen im Innern des Thurmes aus Eisen hergestellt. Die reinen Baukosten des Thurmes — abgesehen von den Transport-Vorrichtungen und dem Leuchtapparat — haben rd. 60000 M. betragen, eine Summe, deren Angabe genügt, um die Schwierigkeiten des Baues anschaulich zu machen. (Näheres in Immrie Bell, Construction of La Corbiére Lighthouse etc.; London 1880 und (darnach) Deutsche Bauzeitung 1881, S. 439.)

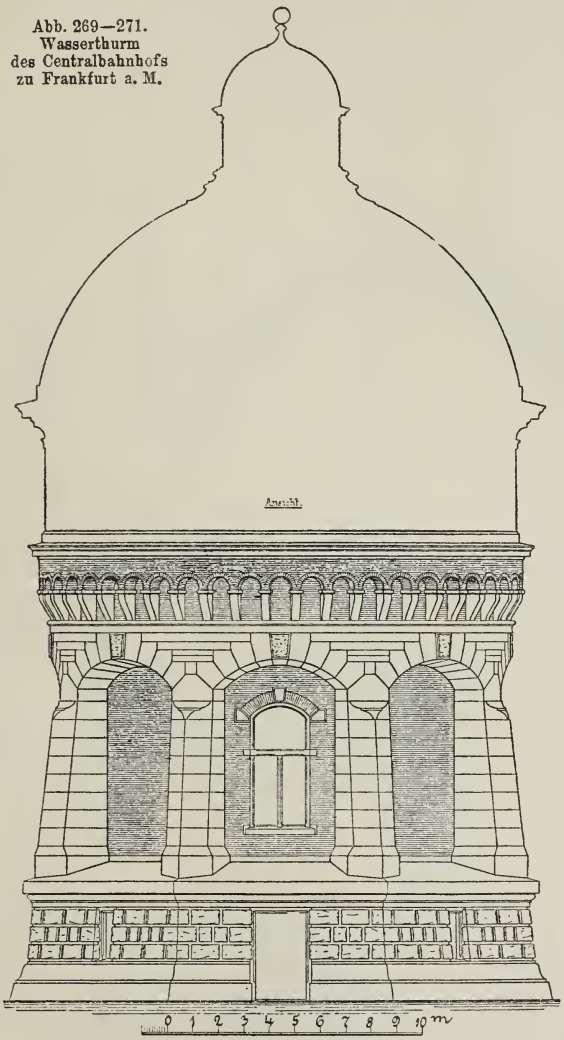
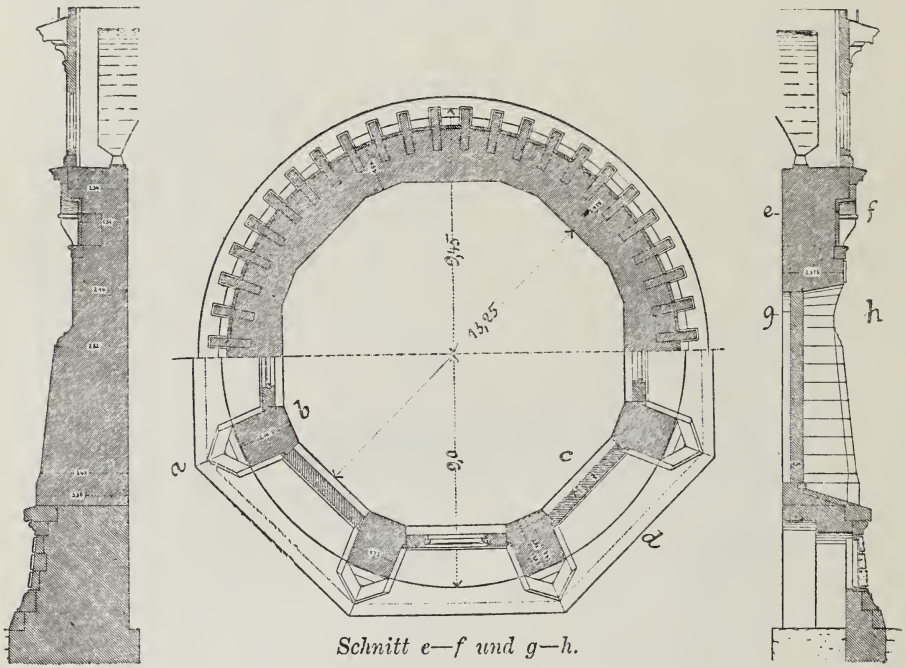


Abb. 269—271.
Wasserthurm
des Centralbahnhofs
zu Frankfurt a. M.

Von mehreren Thurmhelmen, welche in Betonbau hergestellt sind, werden hier nur die Doppelthürme der Peter-Pauls-Kirche zu Görlitz angeführt, welche erst ganz neuerlich fertig gestellt sind. Diese mächtigen Thurmhelme sind in gothischen Formen gehalten; die Ausführung geschah mit Werkstücken aus Stampf-Beton, welche auf einem eigenen Werkplatz in der Nähe der Baustelle hergestellt wurden. Veröffentlichungen über diese bemerkenswerthe Ausführung sind bisher nicht bekannt geworden; über verschiedene Vorfragen die bei derselben auftauchten, ist zu vergleichen in D. Bauztg., insbesond. Jahrgänge 1884 u. 1885. —

Dampfschornsteine aus Beton sind in den letzten Jahren zahlreich

Abb. 270 und 271.



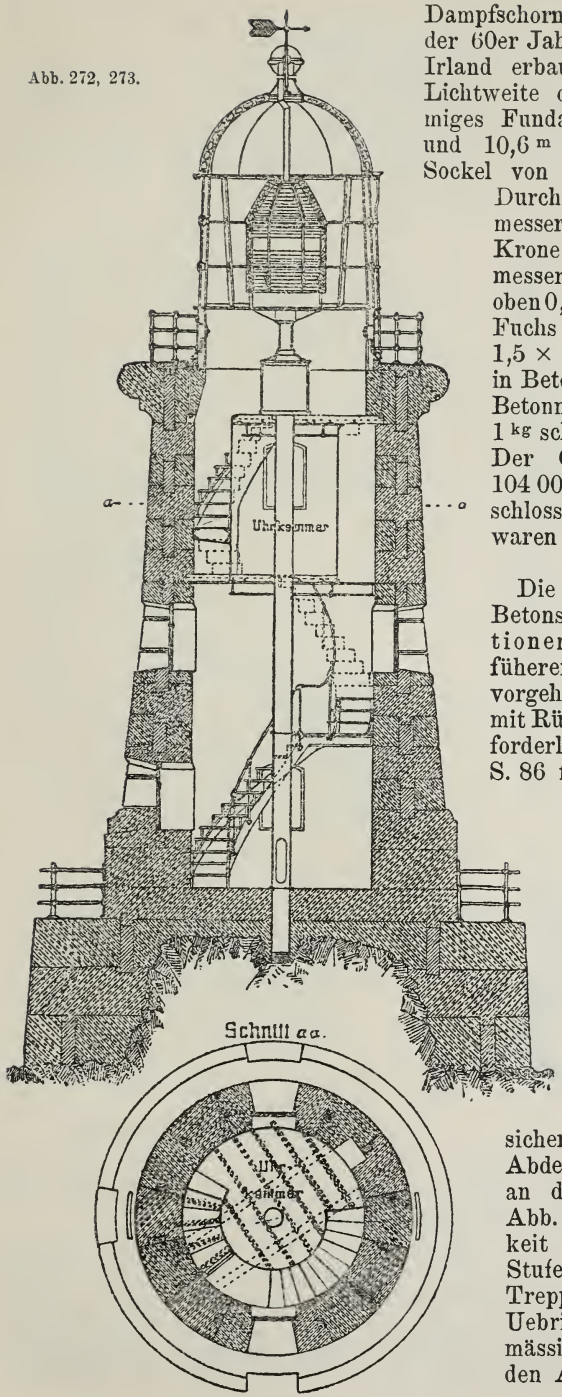
Schnitt a—b. *Schnitt e—f und g—h.* *Schnitt c—d.*

erbaut worden; insbesondere finden sich auf den Cementwerken selbst solche Bauten.

Auf der Cementfabrik Blaubeuren ist im Jahre 1876 ein Schornstein von 36 m Höhe und 1,4 m lichter Weite in Stampfbeton ausgeführt worden; in den untersten 8 m Höhe hat derselbe eine Ziegelstein-Ausfütterung erhalten. Für das Fundament bestand die Mischung aus 1 Th. Portlandcement, 1 Th. Romancement, 13 Th. Kiessand und Schotter; für den Schaft aus 1 Th. Portlandcement, 1 Th. Romancement, 1 Th. Sand, 7 Th. Kies und für die Gesimse aus 1. Th. Portlandcement, 2 Th. Sand. Der rechnungsmässige grösste Druck beträgt im Fundament 4,4 kg und im Schaft 6,3 kg/1 qcm. Zum Formen wurde im Innern Eisenblech, aussen Holz benutzt, und kein Putz aufgetragen. Die tägliche Leistung betrug 1 m Höhe; die Kosten stellten sich auf 15 bezw. 21 M. für 1 cbm Beton.

Ein den vorstehend beschriebenen an Weite und Höhe übertreffender

Abb. 272, 273.



Dampfschornstein aus Beton ist Anfang der 60er Jahre für eine Jutefabrik in Irland erbaut worden. Höhe 48 m, Lichtweite oben 2,40 m; zylinderförmiges Fundament von 2,75 m Höhe und 10,6 m Durchmesser; 8eckiger Sockel von 4,55 m Höhe und 5,5 m Durchmesser; Schaft-Durchmesser unten 4,85 m oben 3,20 m; Krone 1,80 m hoch und 4 m Durchmesser; Wandstärke unten 1,20 m, oben 0,375 m. Der anschliessende Fuchs von 42 m Länge und 1,5 × 1,5 m Weite ist gleichfalls in Betonbau hergestellt. In die Betonmasse sind Steinstücke bis 1 kg schwer eingebettet worden. Der Cementverbrauch betrug 104 000 kg; die Kosten, eingeschlossen diejenigen des Fuchses, waren nur 11 600 M. —

Die besondere Eignung des Betons für Treppen-Konstruktionen aller Art ist schon an früherer Stelle des Buches hervorgehoben worden. Wegen der mit Rücksicht auf Abnutzung erforderlichen Betonmischung ist S. 86 ff. zu vergleichen. —

Gewundene Treppen lassen sich besonders solide in einem einzigen Stück herstellen, wozu die Treppe in wirklicher Grösse „aufgeschnürt“ werden muss, um darnach die vom Fussboden bis zur Decke reichende Form herzustellen. Die Stufen sind während mindestens vier Tagen gegen Belaufen zu sichern, wozu dieselben Bretter-Abdeckung erhalten, welche an die Form genagelt wird, Abb. 274. Es dient der Festigkeit der Treppe, wenn die Stufen 10—15 cm tief in die Treppenhausmauern einbinden. Uebrigens geht die zweckmässige Einschalungsweise aus den Abb. 274—276 hervor.

Will man die Stufen mit Brettern belegen, so werden dazu ein paar Schrauben für jede Stufe in den Beton eingeformt.

Betontreppen mit geraden Läufen zeigen die Abb. 277—281. In den beiden zuerst vorgeführten Konstruktionen sind für die Podestbildungen I Träger zu Hilfe genommen, bei der Konstruktion Abb. 281 auch zu der Unterstützung der Läufe. In letzterer Konstruktion, sowie in derjenigen Abb. 277 haben die Stufen und Podeste Holzbelag erhalten.

Abb. 277.

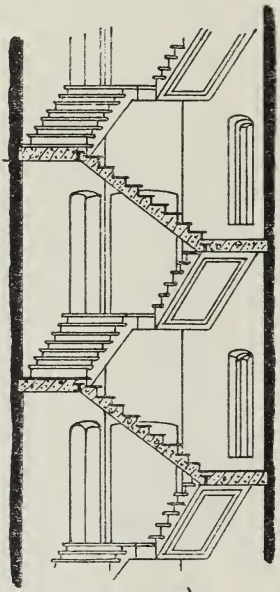
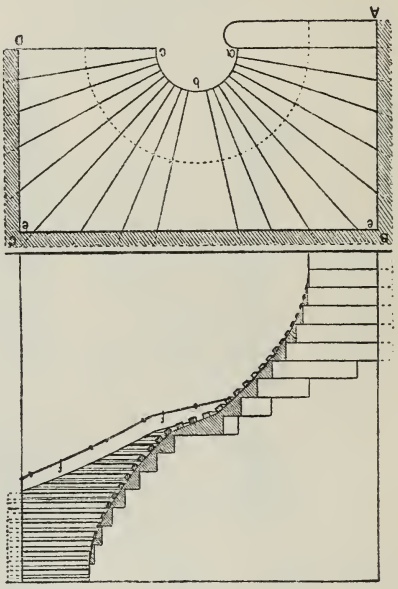


Abb. 274.



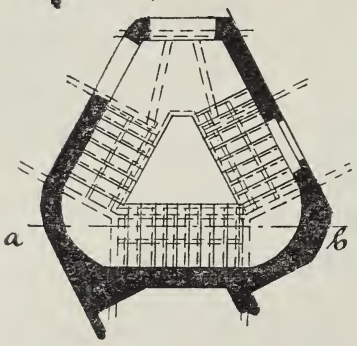


Abb. 275.

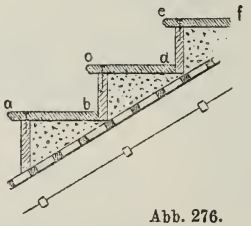


Abb. 276.

Die mit Details dargestellte Treppe ohne Holzbelag, Abb. 278—280, ist im Jahre 1886 in einer Villa zu Biebrich ausgeführt.

In noch anderer Weise wird Beton beim Bau von Treppen benutzt, indem man denselben (mehr in der Form von Füllmaterial) auf einer Unterlage von Wellblech ausbreitet, wobei dieses sowohl der Quere als der Länge des Laufes nach gelegt sein kann. Auf der Abgleichung der Wellenthäler werden dann die Stufen am zweckmässigsten direkt geformt, bezw. auch in Einzelstücken verlegt, mit oder ohne Holzbelag des Auftritts.

Die Abb. 282 giebt die Darstellungen von drei verschiedenen, unter Verwendung von Wellblech und Beton hergestellten Treppen-Anordnungen. Für die Wahl zwischen der frei liegenden Treppe und der Wangentreppe ist die Länge des Treppenlaufs entscheidend, weil für die Länge der Wellbleche ein bestimmtes Maass, nämlich 4 m, üblich geworden ist. Bei einem Treppenlauf nahe an 4 m Länge wird man deshalb die Wellblechtafel der Länge des Laufs nach legen. Wenn die Länge des Laufs über 4 m hinaus geht, kann es vortheilhafter sein, das Wellblech quer anzuordnen, wobei dann allerdings Wangen aus Profileisen, die bei Anordnung der Länge nach entbehrt werden können, nothwendig sind. — Frei tragende Treppen können selbstverständlich nur mit Querlage der Wellbleche hergestellt werden.

Abb. 278.

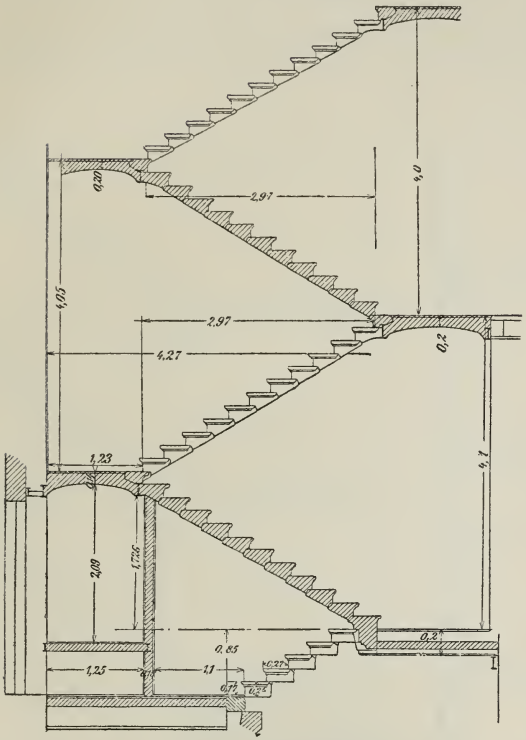


Abb. 279.

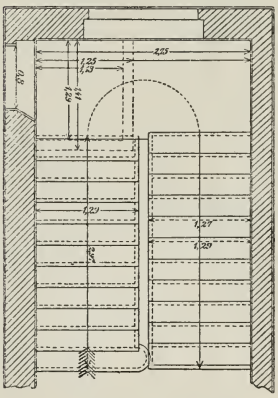
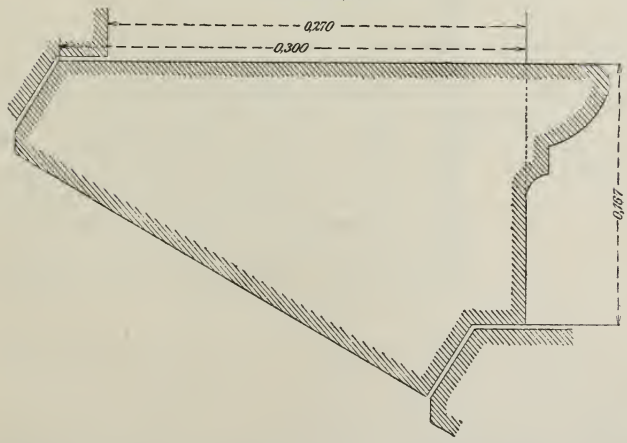


Abb. 280.



Bei den dargestellten, aus der Frühzeit der Wellblech-Konstruktionen stammenden Wellblechtreppen sind Steinstufen mit Holzbelag verwendet,

was als nicht rationell bezeichnet werden muss. Bei der grossen Solidität der Unterlage, welche der frei liegenden sowohl als der Wangentreppe eigen ist, würde hier eine Herstellung der Stufen in Stampfbeton ganz besonders angezeigt sein, während bei der frei tragenden Treppe, die das Stampfen nicht verträgt, allerdings Stampfbeton nur in geformten Stufen Verwendung finden könnte.

Abb. 281.

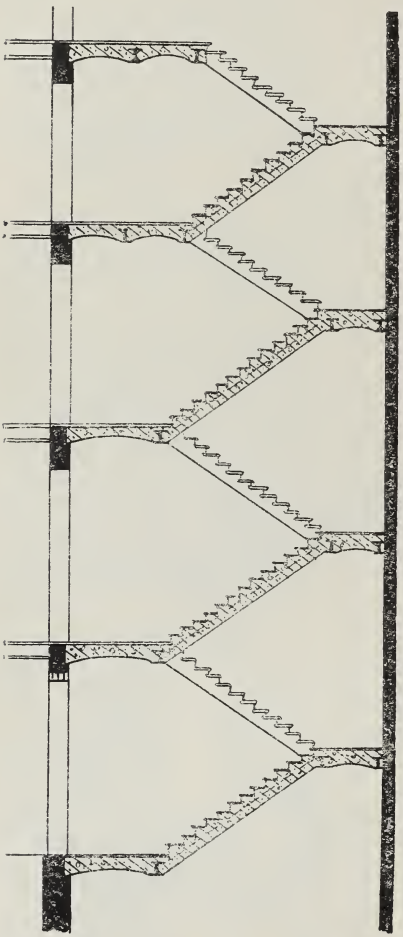
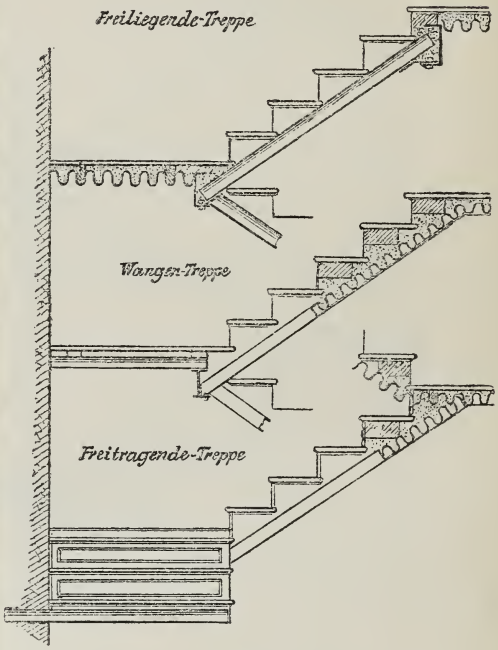


Abb. 282.



Betontreppen mit Wellblech-Unterstützung sind feuersicher, haben geringes Gewicht und üben keinen Schub auf die Gebäudemauern aus. Bei den Podesten kommt als besonderer Vortheil hinzu, dass ihre Dicke sehr gering ist und sie daher grosse lichte Höhe geben, Vortheile, die in sehr vielen Fällen von grossem Werthe sein können. —

Zu Dächern ist Beton ausser in der bei Abb. 268 angegebenen Form in der Weise verwendet worden, dass man denselben als Ersatz für die Holzschalung bei den sogen. Holz-Cement-Dächern benutzt hat. Das Dachgerüst wird alsdann (übereinstimmend mit einer Zwischendecke) aus niedrigen I Trägern von 8—10 cm Höhe gebildet, zwischen welchen man Kappen aus Beton schlägt.

Eine andere orriginelle Ausführungsweise, welche zur Nachahmung geeignet ist, ist bei dem Holz-Cement-Dach über dem Kessel- und Maschinen-

hause im Zollhafen zu Mainz angewendet. Die eisernen Sparren liegen dort mit nur 50 cm Weite und es sind die Felder zwischen denselben durch Drainröhren geschlossen, welche auf den Unterflanschen der Sparren aufliegen. Auf die Drainröhrenlage ist eine Schicht Beton gebracht und diese wieder mit einer glatten Putzschicht abgeglichen.

Holz-Cement-Dächer auf Beton sind in ihrer Feuersicherheit und in ihrer Leistung, was die Mässigung thermischer Einwirkungen anbelangt, wie desgleichen in Bezug auf Dauer gegen das Durchdringen von Regen usw. endlich in dem Fortfall aller Reparaturen wahrscheinlich unübertreffbar.

i. Einiges Besondere über die Verwendung von Cement bei Hochbauten.

In der Absicht, Rohbauten aus Ziegeln oder Quadern eine besondere Wetterbeständigkeit zu verschaffen, wird zum Verstrich der Fugen wohl Cementmörtel — zuweilen ohne Sandzusatz — verwendet; dies kann häufig ein Missbrauch des Cements sein; in jedem Falle ist es ein solcher, wenn man Cementmörtel ohne Sandzusatz benutzt. Auch wenn Cement frei von der Eigenschaft des Treibens ist, kann derselbe bei ungemagerter Verwendung schon durch den Witterungswechsel rissig werden und infolge dessen zu Zerstörungen der Kanten von Quadern oder Ziegelsteinen Veranlassung werden, eine Gefahr, die vermieden wird, wenn Mörtel 1 : 1 oder stärker gemagerter zur Benutzung kommt. — Wo es auf sauberes Aussehen der Mauerwerksfläche ankommt, wird man Cementmörtel zum Ausfugen überhaupt nicht benutzen dürfen, sondern Kalkmörtel, dem ein geringer Zusatz von Cement gegeben werden kann. Denn die Alkalien des Cements dringen in die Ränder und Kanten der Steine ein und zeigen sich, auslaufend, als schmutzige Streifen von 1 cm Breite und mehr entlang den Kanten der Steine, wodurch das Mauerwerk in hohem Grade unansehnlich werden kann.

Aus demselben Grunde dürfen auch die Fugen von Fliesen aus Marmor oder anderem natürlichen Stein, wie desgleichen gebrannte Fliesen nicht mit Cementmörtel verstrichen werden; man benutzt dazu am besten hydraulischen Kalk, während allerdings das Verlegen auf einer Schicht von Cement-Mörtel ungefährlich für das gute Aussehen des Fliesenfussbodens ist.

Zum Mauern Kalkmörtel, zum Fugen Cementmörtel zu verwenden, kann unter Umständen einem Bauwerk auch sonstigen Nachtheil bringen, z. B. wenn die Mörtelmenge im Mauerwerk gross ist, die Fugen an der Vorderfläche aber eng sind, weil alsdann die Ungleichheit der Schwindungskoeffizienten zwischen Kalkmörtel und Cementmörtel eine Rolle spielen, und Trennung zwischen Vorder- und Hintermauerung eintreten kann.[1])

Es ist desgleichen daran zu denken, dass auch durch die grosse Dichte des Cementmörtels der Zutritt der Luft zu dem im Kern des Mauerwerks befindlichen Kalkmörtel gehemmt werden kann und in Folge dessen der letztere entweder überhaupt nicht vollständig erhärtet oder seine volle Härte erst in übermässig langer Zeit erreicht. —

Cementputz auf den Wänden besserer Innenräume anzuwenden, ist schon wegen der zu erwartenden Ausschläge zu widerrathen; solcher Putz eignet sich nicht für feinere Bemalung; auch haftet auf demselben

[1]) Es sei daran erinnert, dass man für Ziegelmauerwerk in Kalkmörtel auf ein „Setzungsmaass“ von etwa $^1/_{100}$ rechnet, ein Maass, welches häufiger über- als unterschritten werden dürfte.

Tapete nicht gut. Ob ein anderer Grund, den man hier und da aussprechen hört, dass nämlich der sehr harte Cementputz die Schallübertragung von einem Geschoss ins andere begünstige, zutrifft, dürfte noch nicht erwiesen sein, während ein letzter Einwand, dahin gehend, dass Cementputz den Luftaustausch zwischen den beiden Seiten einer Mauer in höherem Maasse als für die Gesundheit der Bewohner dienlich sei, beeinträchtigen könne, wohl keine Beachtung verdient, da er durch Erfahrungen in Gegenden, wo Cementputz am Aeusseren der Häuser sehr verbreitet ist, sich bisher nicht bewahrheitet hat. —

Bei Hochbauten, welche unter Benutzung von Cementmörtel hergestellt werden, sind gewisse Vorsichtsmassregeln zu beobachten, wenn nicht durch die Berührung des Cements mit anderen Baumaterialien an diesen Schäden entstehen sollen. Diese Vorsichtsmassregeln werden oft genug unberücksichtigt gelassen.

Cement verhält sich gegen Blei und Zink, beides Materialien, welche im Hochbau reichliche Anwendung finden, im allgemeinen feindlich. Bleirohre für Wasserleitungs- und sonstige Zwecke werden durch die unmittelbare Berührung mit Cementmörtel — wie desgleichen auch bei Berührung mit Mörtel aus hydraulischem Kalk — leicht zerstört, indem das Blei in pulverförmiges Bleioxyd verwandelt wird. Vorsichtige Rohrleger wenden daher für Bleirohre eine mehrmalige Umwickelung mit Papier an, ein Mittel, dessen Anwendung von französischen Bauhandwerkern nie versäumt wird.

Nicht ganz so häufig als bei Blei findet Zerstörung von Zink statt, wenn sich dies Metall in unmittelbarer Berührung mit Cement befindet; doch sind die betr. Beispiele ebenfalls zahlreich. Es ist im allgemeinen zu widerrathen, z. B. Zinkblech-Abdeckungen von Gesimsen, Sohlbänken usw. unmittelbar auf Cementputz zu legen, vielmehr auch hier zu empfehlen, eine Zwischenlage — etwa von Papier oder Dachpappe — zu benutzen. Die Schäden, welche Cement am Zink bewirkt, pflegen sich in der Form von kleinen Löchern zu zeigen, welche ganz unmerklich entstehen.

Ausser auf den hier berührten Gegensatz zwischen Cement und Zink ist beim Zusammenbringen beider Materialien der sehr grosse Unterschied der Dehnungen in Folge von Temperaturwechseln zu beachten. Es muss durch elastische Zwischenlagen oder Einlagen, etwa von Pappe oder Filz, dem Zink der nöthige Raum für freie Beweglichkeit gelassen werden, wenn nicht Brüche des einen oder anderen Materials entstehen sollen. Bei Einrichtungen zur Abhaltung von Wasser, wie z. B. auf Balkonen, bei Badewannen usw., fordert dieser Umstand zu besonderer Berücksichtigung heraus. —

Die Antwort auf die Frage der Zweckmässigkeit der Verwendung von Cementmörtel bei einem Bauwerk, kann sehr verschieden ausfallen. Die etwaige Ansicht, dass durch den Gebrauch von Cementmörtel ein Bauwerk an seiner Güte, unter allen Umständen gewinne, ist irrthümlich, in dem Falle, dass das eigentliche Mauermaterial — natürlicher Stein oder Ziegel — in seiner Festigkeit und Wetterbeständigkeit hinter dem Cement einigermaassen zurück bleibt. Festigkeit und Dauer eines Bauwerks sind das Ergebniss des Zusammenwirkens der einzelnen Theile oder Glieder desselben, unter denen der Mörtel zwar ein wichtiges, doch nur ein einziges ist. Sind die anderen Glieder oder einzelne derselben schwach, z. B. die Steine locker und gegen Wetter wenig beständig, so kann die bald eintretende Zerstörung durch die Ver-

wendung des hochwerthigen Cementmörtels nicht aufgehalten oder wesentlich verzögert werden. In solchem Falle Cementmörtel zu benutzen ist jedenfalls unökonomisch. Immer ist Voraussetzung einer rationellen Anwendung von Cementmörtel, dass derselbe in seinen Haupteigenschaften mit den Haupteigenschaften der übrigen Baumaterialien im Einklang stehe.

In bautechnischen Kreisen ist noch vielfach die Ansicht verbreitet, dass man geringwerthige Ziegelsteine durch Auftragen eines Cementputzes wetterbeständig machen könne, bezw. dass die Verwendung von Cementputz auf der Aussenfläche von Mauern die Verwendung eines geringwerthigen Steinmaterials zulasse oder vortheilhaft mache. Diese Ansicht ist irrthümlich, weil auf einer mangelhaften Mauerfläche kein Cementputz hergestellt werden kann, welcher Dauer verspricht. Auf mangelhaft gebrannten Ziegeln, oder solchen, die schädliche Bestandtheile enthalten, deren Gefüge darum locker ist, oder welche abblättern, kann Cementputz nicht haltbar sein, besonders aus dem Grunde nicht, dass die Haftfläche derselben wandelbar ist. Das Gleiche gilt für natürliche Steine geringer Qualität, wie manche Kalk- und Sandsteine. Cementputz hält in solchen Fällen nur kurze Zeit, wird besonders an der sogen. Wetterseite bald schadhaft, in dem er stark rissig wird, oder abfällt. Daher gilt als Grundsatz, dass die hohe Qualität von Cementputz jedenfalls eine ziemlich hohe Qualität des Mauermaterials voraussetzt um ökonomisch berechtigt zu sein. Wo es an dieser fehlt wird man zweckmässiger Weise den minder kostspieligen, mit der Beschaffenheit der Unterlage besser harmonirenden Kalkputz verwenden.

Mauerwerk, welches mit feuchtem Boden in Berührung ist, wie die Grundmauern von Gebäuden, Stütz- und Ufermauern usw., aus Material minderer Qualität herzustellen und den Schutz gegen Feuchtigkeit in einem Cementabputz zu suchen, ist gänzlich fehlerhaft. Bei grösserer Stärke solcher Mauern kann es aber zur Erwägung kommen, zweierlei Material zu verwenden: zum Kern derselben ein geringeres, zu den Aussenseiten ein gutes, und alsdann auf dieses einen Cementputz aufzutragen. —

XII. Monier's Bauweise.

Das Allgemeine über die Bauweise Monier's ist bereits auf S. 12 ff. mitgetheilt und dort auch bereits auf vielfache Verwendungen, die dieser Bauweise offen stehen, hingewiesen worden. Die beträchtliche Grösse der Druckfestigkeit von Cement, dagegen die Kleinheit der Zugfestigkeit, mithin der bedeutende Unterschied, welcher zwischen der Zug- und der Druckfestigkeit von Cement besteht, beschränkt den Betonbau im wesentlichen auf Konstruktionsformen, welche ganz oder fast ganz auf Druckfestigkeit beansprucht werden und macht denselben da schwierig oder ungeeignet, wo auf Zugfestigkeit, selbst wenn diese nur mässig ist, gerechnet werden muss.

Die Monier-Bauweise vergrössert das Anwendungsgebiet des Cements, indem nach derselben Konstruktionsformen von sehr erheblichem Widerstande gegen Zug ausführbar sind. Bei der Grösse von 3500 kg Zugfestigkeit, welche 1 qcm Eisen besitzt, (gegenüber 160 kg Druckfestigkeit von 1 qcm Cement) ist indessen das Problem: in einer Kombination der beiden Materialien, die Haupteigenschaft beider ganz zur Ausnutzung zu bringen, auch in der Monier-Bauweise nicht lösbar; regelmässig wird vielmehr in dem Eisengerippe ein gewisser Ueberschuss an Stärke vorhanden sein, welcher — in Verbindung mit der Kostspieligkeit der Herstellung — diese Bauweise vertheuern muss.

Die Möglichkeit einer zweckmässigen Kombination von Cement und Eisen beruht auf:

a. der nahezu gleichen Uebereinstimmung in der Ausdehnung, welche beide Materialien bei Temperaturwechseln erleiden,
b. der grossen Haftfestigkeit (Adhäsion), welche zwischen Cement und Eisen stattfindet und
c. dem Schutz gegen Rost, welcher bei dem in Cement eingebetteten Eisen besteht.

Da zur Sicherheit gegen Angriff des Eisens durch Rost die Voraussetzung erfüllt sein muss, dass der Zutritt von Feuchtigkeit zum Eisen absolut verhindert ist, so ersieht sich, das auf die Einbettung desselben in dem Cementmörtel besondere Sorgfalt verwendet werden muss, und dass auch solche Belastungen der Monier-Konstruktionen vermieden werden müssen, bei welchen Risse in der Cementhülle entstehen, die der Feuchtigkeit einen Zuweg zum Eisen eröffnen. Noch anderweite Gefahren, die ein Bloslegen des Eisengerippes mit sich bringen können, brauchen hier nur angedeutet zu werden; doch ist zu erwähnen, dass wenn Rostbildung an dem Eisengerippe einmal begonnen hat, die Zerstörung desselben, unter Mitwirkung der Alkalien des Cements, rascher als bei Berührung blos mit Wasser oder Luft vorschreitet.

Ueber die Haftfestigkeit von Cementmörtel an Eisen sind von Professor Bauschinger in München Versuche angestellt, welche dieselbe

zu 40—47 kg für 1 qcm Fläche ergeben haben. Bei dieser Grösse der Haftfestigkeit ist es unnöthig, die Enden eingelegter Eisenstäbe oder Drähte, wenn die vorhandene Länge derselben nicht ausreicht, mit einander zu verbinden; es genügt, sie auf ein kurzes Stück neben einander zu legen, für welches rechnungsmässig keine grössere Länge als etwa das Zwanzigfache des Durchmessers des (runden) Eisenstabes erforderlich ist. Doch wird man aus praktischen Rücksichten über diese geringe Länge — besonders bei Drähten kleinen Durchmessers — weit hinaus gehen müssen, und besonders dann, wenn die Konstruktion, bevor vollständige Erhärtung des Cements eingetreten ist, in Spannung gesetzt werden muss. In solchen Fällen kann die Nothwendigkeit bestehen, zwei zusammen stossende Enden des Eisens haltbar mit einander zu verknüpfen.

Der Ausdehnungskoeffizient von Cementmörtel ist (vergl. S. 79) von Bouniceau für 1° Wärmewechsel zu 0,0000137—0,0000148 bestimmt worden; fast genau übereinstimmend mit demjenigen für Schmiedeisen. Es muss aber bei dieser Angabe an die Thatsache erinnert werden, dass der Ausdehnungskoeffizient allgemein nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, welche bei den verschiedenen Baumaterialien verschieden liegen, konstant ist, dass aber aus den oben gedachten Versuchen nichts über die vergleichsweisen Verschiedenheiten in den Lagen jener Grenzen bei höheren — aussergewöhnlichen — Temperaturen hervor geht, und dieselben aus diesem Grunde keine ganz allgemein giltigen Schlussfolgerungen zulassen. Indessen haben praktische Erfahrungen bei Brandfällen dargethan, dass Cementmörtel vom Eisen selbst bei sehr hohen Temperaturen nicht leicht abgelöst wird, was allerdings auf eine nahe Uebereinstimmung der Ausdehnungskoeffizienten auch bei sehr hohen Temperaturen schliessen lässt. Anders liegt vielleicht die Antwort auf die Frage: ob im Verhältniss der Festigkeiten beider Materialien, wie es bei normalen Temperaturen besteht, bei hohen Temperaturen Aenderungen eintreten, welche das Zusammenwirken derselben aufheben, d. h. ob etwa eins der beiden Materialien früher als das andere an die Grenze der Tragfähigkeit gelangt? Schmiedeisen kann auf 300° und darüber erhitzt werden ohne an seiner Zugfestigkeit merklich einzubüssen; Cementmörtel möchte nur ausnahmsweise diese Temperatur aushalten ohne an seiner Festigkeit zu verlieren.

Darnach ist es nicht unwahrscheinlich, dass in hoch erhitzten Monier-Konstruktionen die Tragkraft derselben vorwiegend von der Eiseneinlage geleistet wird, dass denselben aber die Cement-Umhüllung insofern in bedeutsamer Weise zu Hilfe kommt, als dieselbe das unmittelbare Herantreten der Gluth an das Eisen und damit eine besonders hohe Erhitzung verhindert. Hier tritt abermals die auf S. 185 gestreifte Frage nach dem Wärmeleitungsvermögen von Cement auf, über welches Genaueres bisher nicht bekannt ist. Je geringer dasselbe wäre, je grösser würde die Leistung des Cements als sogen. Wärmeschutzmittel sein. Mehrfache Erfahrungen bei Bränden lassen auf geringe Wärmeleitung des Cements schliessen.

Darüber, ob es günstiger ist, eine Wärmeschutz-Ummantelung aus Cement ohne oder mit sogen. Luftschicht anzubringen, sind die Ansichten noch verschieden; es scheint jedoch, dass die Ansicht von der Entbehrlichkeit einer Luftschicht vorwiegt. Es könnte also angenommen werden, dass Cement ein schlechterer Wärmeleiter ist als Luft; immerhin dürfen hierbei die Umstände, unter denen die Luft sich befindet, nicht übersehen werden: nämlich, ob diese im Ruhezustande oder in Bewegung ist, was für die Wärmeleitung derselben bekanntlich einen grossen Unterschied bedingt.

Hinsichtlich der Rolle, die Cement in Monier-Konstruktionen als Feuerschutzmittel für Eisen spielt, kommt aber noch folgendes Weitere in Betracht:

Auch wenn bei hohen Temperaturen Verschiedenheiten von einiger Bedeutung in den Ausdehnungskoeffizenten von Eisen und Cement stattfinden, braucht nicht nothwendig sogleich eine Trennung der beiden Materialien gefürchtet zu werden, weil — unter Voraussetzung, dass die Haftfestigkeit des Cements am Eisen bei Hitze nicht stark vermindert wird — diese der Trennung noch einen gewissen Widerstand entgegensetzt. Desgleichen kann man einen gewissen Grad von Zusammenpressbarkeit des Cements annehmen, der dem Eisen einen geringen Spielraum für die Ausdehnung belässt. Endlich ist zu beachten, dass, indem in den Monier-Konstruktionen feste Verbindungen der Eiseneinlagen unter einander vermieden werden, denselben eine gewisse Beweglichkeit an den Verbindungsstellen gewahrt bleibt, was bei Erhitzungen jedenfalls günstig ist.

Auch der hohe Grad von Elastizität, der den im allgemeinen dünnwandigen Monier-Konstruktionen eigen ist, und der bei ihrer Leichtigkeit nur geringe Seitenschub, den sie ausüben (vergl. S. 270), kommen ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Hitzeinwirkungen zu statten. —

Wie aus diesen Bemerkungen ersichtlich, steht mit Bezug auf die Widerstandsfähigkeit der Monier-Konstruktionen gegen Feuer die Klärung mehrerer Fragen vom Gebiete der Physik allerdings noch aus; immerhin darf nach den Ergebnissen, welche bei sogen. Probebränden und auch bei Feuersbrünsten gemacht worden sind, auf ein im allgemeinen hohes Leistungsvermögen der Monier-Konstruktionen gegen Feuer geschlossen werden, so dass dieselben in die Reihe der sogen. feuersicheren Konstruktionen einzustellen sind. Es entspricht dem, dass die Berliner Baupolizei auf Grund der Ergebnisse besonderer Versuche schon um Mitte des Jahres 1887 die Norm aufstellte: „dass gegen die Zulassung von Monier-Decken und -Wänden zur Herstellung feuerfester Konstruktionen, und ebenso gegen die Verwendung der betr. Konstruktionen zur Ummantelung eiserner Säulen ohne Luftisolirschicht Bedenken nicht zu erheben seien".

Was die statischen Verhältnisse der Monier-Konstruktionen betrifft, so ist zu beachten, dass, da man in ihnen auf erhebliche Zugspannungen, die der Zugfestigkeit des Eisens entsprechen, rechnet, sie als eigentliche Cement- (oder Beton-) Konstruktionen kaum bezeichnet werden können, sondern den Eisenkonstruktionen zugezählt werden müssen. Denn es ist das Eisen in ihnen Haupt-, der Cement nur Hilfsmaterial, in Wirklichkeit dazu dienend, die geringe Leistungsfähigkeit, welche dünne Eisenstäbe gegen Biegung besitzen, zu unterstützen. Der Name Cement-Eisen-Konstruktionen, den man für die Monier-Konstruktionen eingeführt hat, ist daher unbezeichnend und sollte durch einen anderen schärfer charakterisirenden ersetzt werden.

Ebenfalls erscheint die Bezeichnung Monier-Gewölbe unzutreffend, da man als bezeichnendes Merkmal des Gewölbes festhalten muss, dass dasselbe im normalen Belastungszustande keine Zugspannungen (oder doch nur ganz minimale) erleidet. Denn es beruht gerade in der Zulassung von relativ grossen Zugspannungen die Möglichkeit, bei nach der Bogenform ausgeführten Monier-Konstruktionen die sonst erforderliche Stärke derselben erheblich herab zu mindern. Monier-Gewölbe und Kappen sind daher im statischen Sinne Träger, entsprechend den bogenförmigen Trägern des Eisenbaues.

Es sind Prüfungs-Ergebnisse bekannt gegeben worden, in denen die Bruchbelastungs-Zahlen von Monier-Konstruktionen mit solchen von Beton-

Konstruktion gleicher (Material-) Stärke (Wand-Dicke usw.) sich neben einander gestellt finden. Wegen der grundsätzlichen statischen Verschiedenheiten beider Konstruktionen ist eine derartige Vergleichsbasis nicht passend; vielmehr sollten Vergleiche, deren Ergebnisse Anspruch auf allgemeine Anerkennung machen, nur so angestellt werden, dass man die Bruchbelastungen von Monier- und Beton-Konstruktionen, welche gleichen Herstellungspreis erfordern, neben einander stellt; anderweite Vergleichs-Unterlagen, insbesondere solche, die sich auf Festigkeit beziehen, geben kein für die Beurtheilung der ökonomischen Verhältnisse geeignetes Bild.

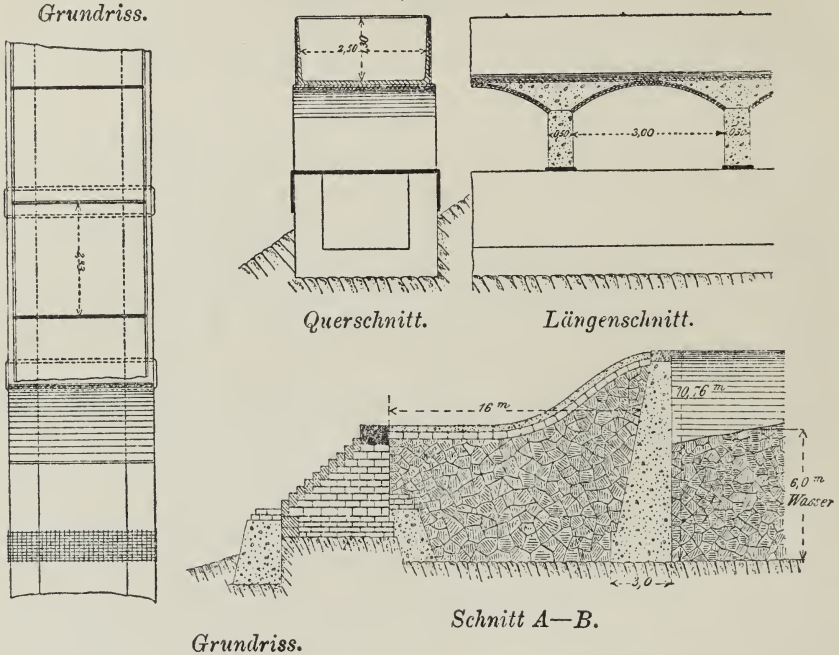
Die geringe Eignung der Monier-Bauweise, in Fällen, wo es sich um die Verarbeitung von Erschütterungen und Stössen, die durch bewegliche Lasten hervor gerufen sind, handelt, ist bereits an mehreren anderen Stellen des Buches hervor gehoben worden. Die Massen, welche in diesen Konstruktionen stecken, sind zu gering, um im Stande zu sein, derartige Wirkungen „in sich“ zu verarbeiten. Wenn von mehreren, nebeneinander liegenden Monier-Kappen einzelne belastet, andere unbelastet sind, werden auf die unbelasteten starke einseitige Seitenschube übertragen; desgleichen erleidet bei einseitiger Belastung einer Kappe die benachbarte Kappe grossen Seitenschub.

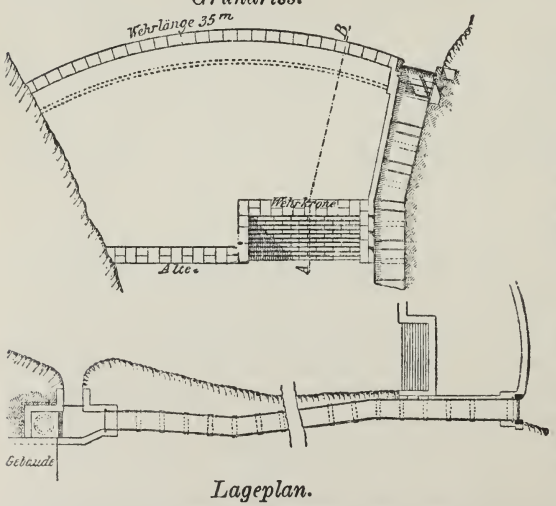
Von grosser Wichtigkeit mit Bezug sowohl auf die statische Leistung der Monier-Konstruktionen als mit Bezug auf die Sicherheit gegen das Rosten der Eiseneinlagen ist die Genauigkeit der Einbettung letzterer. Wenn unter den Beanspruchungen auf Druck- und Zugfestigkeit einer Monierkonstruktion Harmonie bestehen, d. h. die Sicherheit gegen Zerstörung durch Druck und Zug etwa gleich gross sein soll, muss die Eiseneinlage (vergl. die Rechnung auf S. 94) erheblich aus der Mitte des Querschnitts nach derjenigen Seite der Konstruktion hin, welche auf Zug beansprucht wird, verlegt werden. Bei Ausführungen von geringer Wanddicke entsteht damit die Gefahr, dass die Einlage der Aussenseite der Wand zu nahe und bei Beschädigungen, Stoss, Abnutzung, Witterungs- oder Temperatur-Einflüssen frei zu liegen kommt, wodurch dann die Zerstörung eingeleitet wird. Mit Rücksicht auf diese Gefahr wird es im allgemeinen kaum möglich sein, die Eiseneinlage an die der Theorie nach richtige Stelle des Querschnitts zu verlegen, was mit anderen Worten heisst, dass man die Eisenmenge vergrössern oder auch (bei gleich bleibenden Eisenmengen) die Dicke der Cementschicht an der Seite, wo Zugfestigkeit stattfindet, über den rechnungsmässig genügenden Bedarf hinaus vermehren muss.

Was die Wasserdichtigkeit der Monier-Wände betrifft so ist dabei an eine besondere Wirkung der Eiseneinlagen nicht zu denken. Selbst wenn man — auf Grundlage der grosssen Haftfestigkeit von Cement an Eisen — die Annahme machen wollte, dass zwischen beiden Materialien vermöge chemischer oder physikalischer Eigenschaften Kraftwirkungen von einiger Intensität bestehen, würde an eine Erhöhung der Wasserdichtigkeit durch die Einlage aus Drähten oder Stäben — weil diese relativ weit aus einander liegen, nicht gedacht werden können. Die Wasserdichtigkeit beruht ausschliesslich in der Cementbeschaffenheit, bezw. der Güte der Verarbeitung desselben; dass letztere nicht unter einer gewissen Grenze bleibt, wird allerdings schon durch die Dünnwandigkeit der Konstruktionen erfordert. Der Eiseneinlage kann insofern eine Beeinflussung der Wasserdichtigkeit beigemessen werden, als dieselben vielleicht dem Entstehen von Rissen in Folge von Belastungen oder Belastungswechseln vorbeugt.

Vermöge der bei der Monier-Bauweise erfolgenden Einschränkung des grossen Unterschiedes, der zwischen der Festigkeit gegen Zug und Druck bei Beton-Konstruktionen besteht, ist dieselbe für mancherlei Konstruktionsformen gut verwendbar, bei welcher Beton entweder gar nicht, oder nur in beschränkter Weise zur Anwendung kommen kann. Desgleichen eröffnen die

Abb. 283—289, Wehrbau Lohmen.





leichte Formungsfähigkeit und das geringe Eigengewicht der Monier-Bauweise Verwendungszwecke, welche dem Betonbau verschlossen sind. In häufigen Fällen kann die Monier-Bauweise, wie den Betonbau, so auch den Eisenbau vertreten.

Auf die Mannigfaltigkeit der Verwendungsweisen welche dem Monier-Bau offen stehen, speziell einzugehen, ist um so weniger erforderlich, als der Gegenstand sich heute noch im Zustande einer gewissen Neuheit befindet. Unter Hinweis auf dasjenige, was bereits S. 12 ff. hierzu angeführt ist, wird es genügen, die Monier-Bauweise an einer Anzahl von passend gewählten Beispielen noch etwas näher als oben geschehen, zu erläutern.

Abb. 283—289 stellen einen im Jahre 1887 ausgeführten Wehrbau bei Lohmen dar. Die Anlage, welche den Zweck hatte, den Spiegel eines vorhandenen Wasserlaufs um 3,5 m höher zu legen, umfasst den Neubau eines Wehres, dessen Krone 3,5 m über der Krone eines bereits vorhandenen Wehres liegt, mit daran schliessendem Mühlgerinne von 130 m Länge.

Auf den Umfassungswänden des aus Bruchsteinmauerwerk ausgeführten alten Gerinnes wurden gerade Monierplatten von 6—7 cm Stärke mit übergreifenden Enden in etwa 3,5 m Entfernung verlegt, auf welchen die Pfeiler für den Aquadukt aufbetonirt wurden. Zwischen die Pfeiler sind Monierkappen gespannt, deren Zwickel mit Beton abgeglichen sind. Auf den Gewölben liegt das in Monier-Konstruktion ausgeführte Mühlgerinne von 2,5 m Breite und 1,3 m Höhe, dessen Seitenwände durch übergelegte Anker aus ⊥ Eisen, welche gleichzeitig zur Aufnahme einer hölzernen Abdeckung des Gerinnes dienen, ausgesteift sind. Die Ausführung wurde unter ausserordentlich schwierigen Umständen bewirkt. Die Baugrube hatte bei 5 m Breite und 40 m Länge 10,8 m Tiefe und die Wasserbewältigung betrug 400 l in 1 Sek.

Abb. 290, 291, Spülbassin in Bremen.

Schnitt a—b.

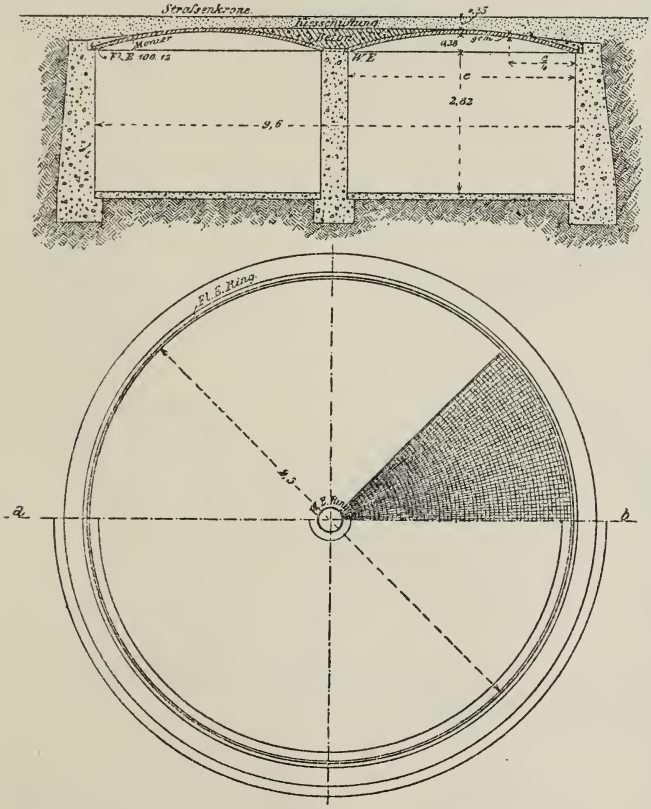


Abb. 290, 291 stellen ein Spülbassin in Bremen dar, welches im Jahre 1889 hergestellt ist. Auf der Decke in Monier-Konstruktion liegt eine Kiesschüttung von nur 25 cm Höhe zur Unterbettung des Strassenpflasters; eine Probebelastung der Decke hat 4 Wochen nach der Fertigstellung stattgefunden.

Abb. 292, 293 geben den Entwurf zu einem Eisbehälter von 36 cbm Fassungsraum für das Officiers-Casino des Leibgarde-Infanterie-Regiments zu Potsdam. Der doppelwandige Behälter hat 4,00 m lichten Durchmesser bei 3 m Höhe.

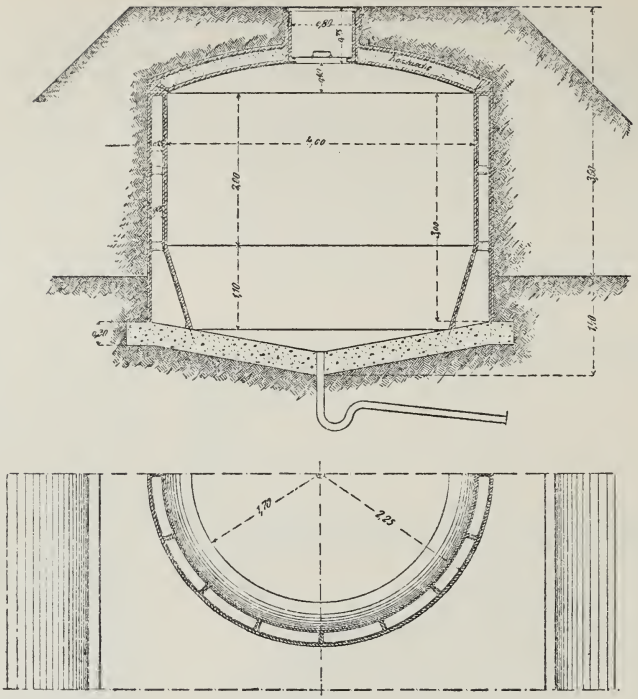
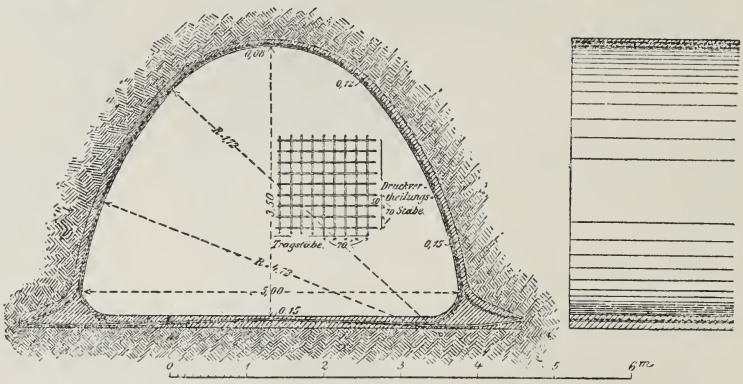


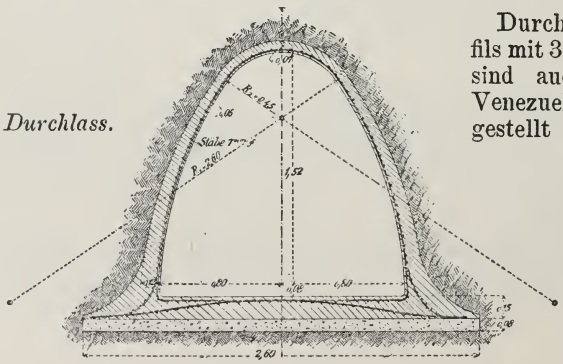
Abb. 292, 293, Eisbehälter in Wände-Konstruktion.

Abb. 294 bis 296 stellen die Profile von im Jahre 1888/89 ausgeführten Tunnel-Durchlässen in den Wegen der Wiekau-Warger Teichanlagen der Wasserwerke für die Stadt Königsberg i. Pr. dar.

Es wurden hergestellt: 105 m grosses Profil mit 1,90 bis 1,00 m Axenlänge und 266 m kleines Profil, 0,80 bis 0,50 m Axenlänge. Belastung 9000 kg 1 qm.



Querschnitt.



Durchlass.

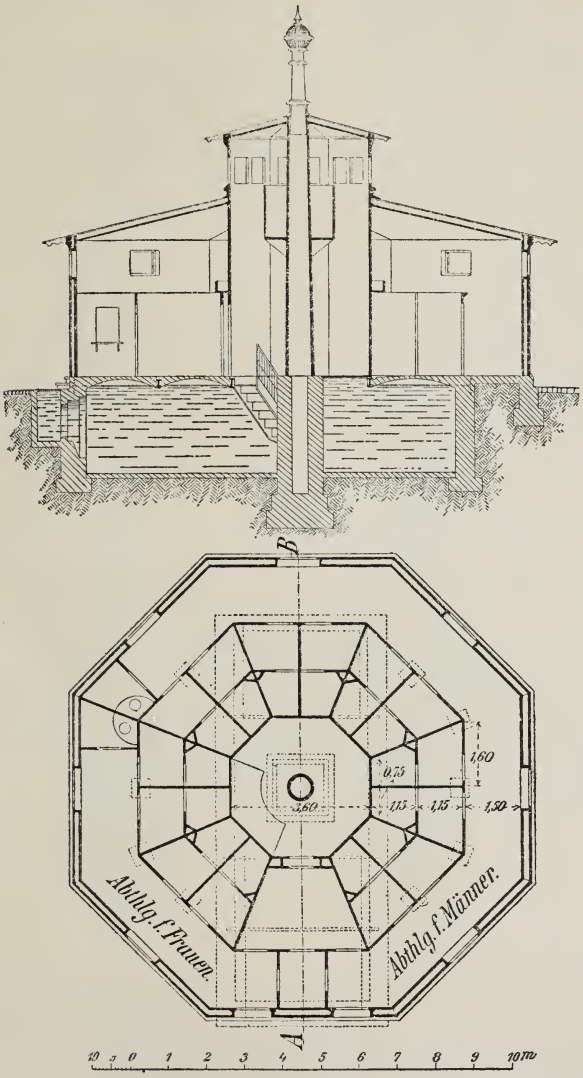
Abb. 294—296, Tunnel in den Wegen der Wiekau-Warger Teichanlagen.

Durchlässe ähnlichen Profils mit 3,50/2,50 m Axenlänge sind auch für die Grosse Venezuela-Eisenbahn hergestellt worden.

Abb. 297—300 stellen das städtische Brausebad in der Ohlmüllerstrasse zu München dar, welches im Jahre 1889 erbaut worden ist

Fundamente in Stampfbeton; Monierkappen; Wände in Monier-Konstruktion. Die Aussenwände sind doppelt. Auch das Dach und die Reservoire sind in Monier-Konstruktion hergestellt. Die als Abb. 299, 300 beigefügte Detailzeichnung veranschaulicht die Ausführung einer Badezelle wie solche in dem Brausebade von Grove auf der Unfallverhütungsausstellung, Berlin 1889, ausgestellt war. Die gleichartige Anlage eines Volksbrausebades ist in Frankfurt a. M. ausgeführt worden.

Abb. 297—300, Volks-Brausebad in der Ohlmüllerstrasse in München.



Der Raum unterm Terrain dient zur Aufstellung der Heizkörper, als Waschküche und für Aufbewahrung des Brennmaterials.

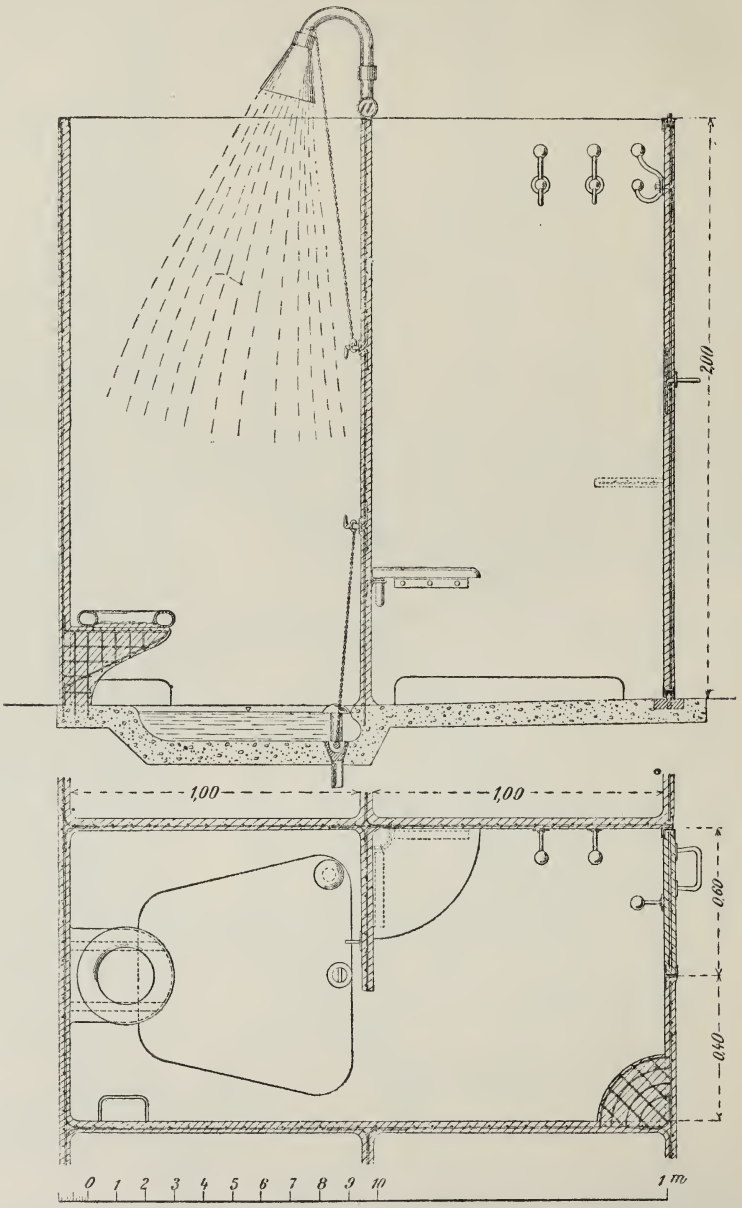
Abb. 301 stellt Eindeckung und Ummantelung eines eisernen Hochreservoirs zu Emmerich dar, das im Jahre 1888 hergestellt ist. Die senkrechte Wand mit dem unteren, tragenden Gesims, welches an das Bassin angeschlossen ist, ist als Monier-Wand ausgeführt. Auf diese Wand setzt sich die Monier-Kuppel auf, welche, ohne eine besondere eiserne Konstruktion, den Raum über dem Bassin überspannt. Die architektonische Gliederung ist in Cementputz ausgeführt.

Abb. 302, 303 stellen die Kuppel über dem Mausoleum für Kaiser Friedrich in Potsdam dar, dieselbe ist im Jahre 1889—90 ausgeführt und zwar doppelwandig.

An 10 Rippen aus Eisengeflecht mit Cementumhüllung ist die äussere und innere Dachhaut aus Monier-Wand angeschlossen; auf der Aussenhaut liegt eine Kupferdeckung. Der Hohlraum am Fuss der Kuppel ist auf

etwa 1,5 m Höhe ausbetonirt um dem Schube der Kuppel Widerstand zu bieten. Das Eisengeflecht für die Vertikalen der Laterne setzt sich auf die Hauptrippen der Kuppel auf.

Abb. 299, 300.



Eine bedeutende Ausführung in Monier-Konstruktion ist der Zirkus- und Dioramen-Bau in Leipzig, welcher bei 41 m Durchmesser 3000 Sitzplätze enthält. Für die Wahl dieser Bauweise waren wesentlich ins

Gewicht fallend: Kürze der Bauzeit (nur 10 Monate, von Mitte Juni 1886 bis Mitte April 1887) und die Vermeidung von Wellblech, von welchem man Beeinträchtigungen der Akustik fürchtete. Die Decke besteht aus kegelförmigen Kappen zwischen eisernen Gitterträgern; sie haben am unteren Ende 10 m, am obern nur 2 m Weite, bei 14 m Länge und 4 cm Stärke. Die ganze Decke wurde in 14 Tagen fertig gestellt. Die Dioramen sind in dem Raum über dem Zirkus so angeordnet, dass zwischen die eisernen Ständer Monierplatten eingeschoben wurden. (Näheres siehe in Deutsche Bauzeitung 1888, S. 153.)

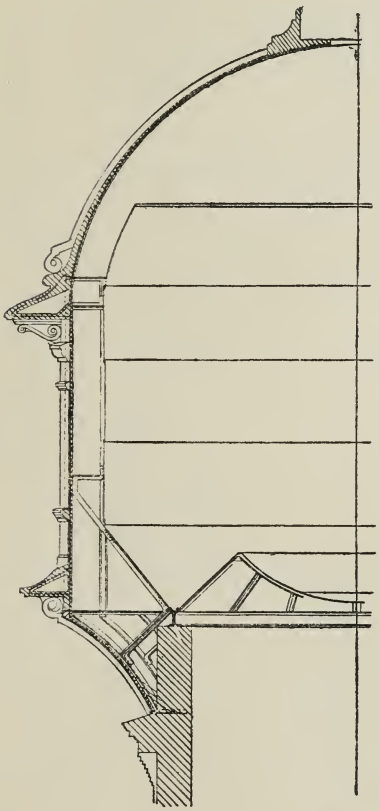


Abb. 301, Ummantelung des eis. Hochreservoirs der Wasserversorgung von Emmerich.

In der Glasfabrik zu Stralau stehen die Brennöfen auf Monier-Gewölben und ist das Dach über dem Ofenraum 16 m weit und darüber als grosse Tonne in Monier-Bauweise hergestellt.

Abb. 304—307 geben verschiedene Anordnungen von Zwischendecken (mit Fussboden) die zwischen Eisenträgern, theilweise unter Mitverwendung von Beton, in Monier-Konstruktion hergestellt worden sind; bei allen sind die Eisenträger des Feuerschutzes wegen mit Beton umhüllt.

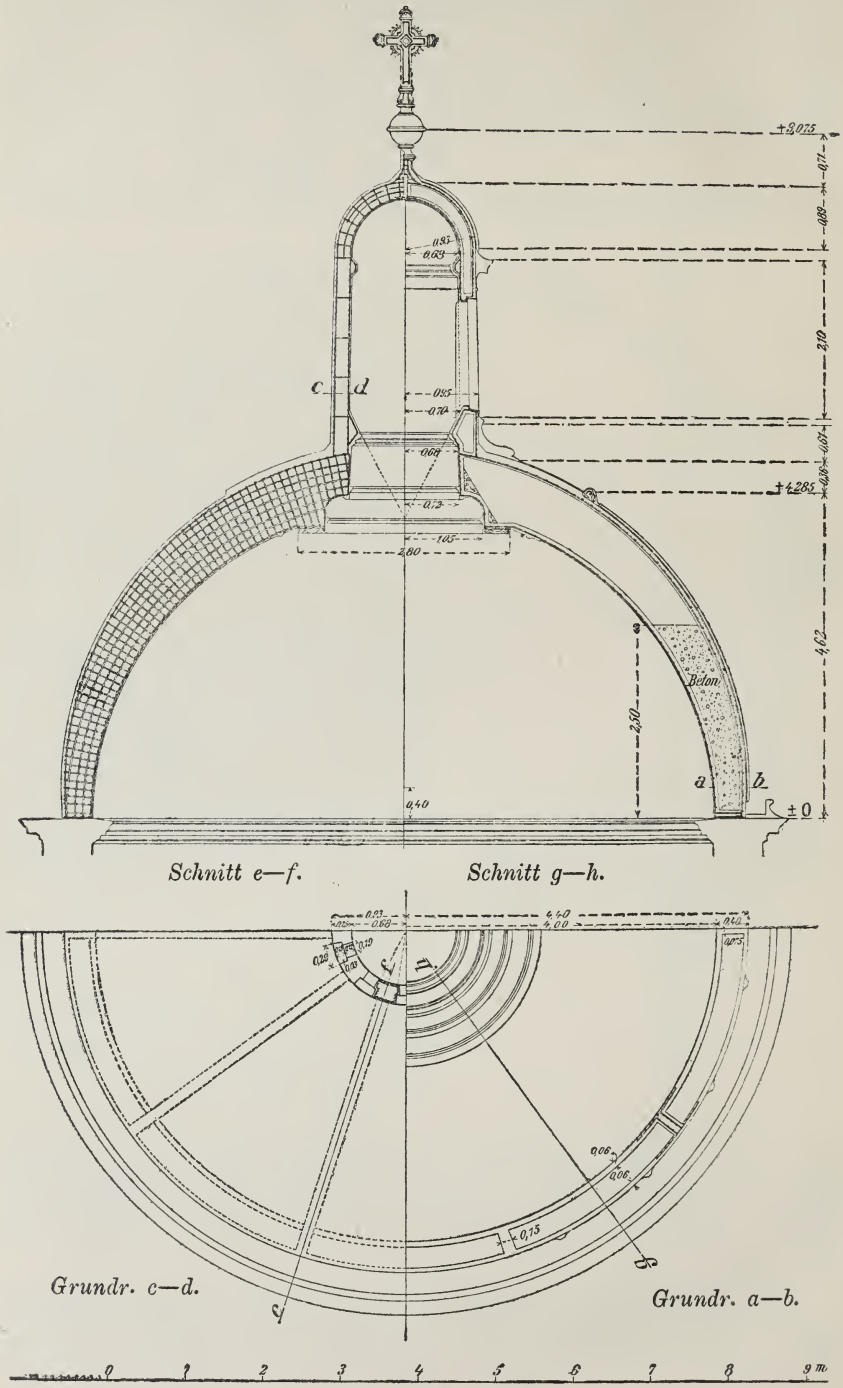
Bei der Leichtigkeit, jede Deckenform, ob gerade, gewölbt oder kassettirt, in Monier-Bauweise herzustellen, ist die Zahl der Decken-Typen mit diesen Beispielen längst nicht erschöpft; doch sind weitere Vorführungen unnöthig. Nur mag noch darauf hingewiesen sein, dass bei der Leichtigkeit, in derMonierdecke Hohlräume zu bilden, dieselbe sich vorzüglich für Heiz- und Lüftungszwecke, wie auch zu thermischen Isolirungen eignet.

Was Feuersicherheit betrifft, so wird die sogen. „gerade“ Decke im Vorzuge vor der gewölbten oder kassettirten sein, insofern die Ausbreitung von Feuer im wagrehtenc Sinne weit weniger leicht von statten geht als im senkrechten.

Wie zerlegbare Treppen in Monier-Konstruktion hergestellt werden ist in den Abb. 308 dargestellt; jede Trittstufe bildet mit der Futterstufe ein Ganzes, einerlei, ob es sich um Wangentreppen oder aufgesattelte Treppen oder Wendeltreppen handelt. Für frei tragende Treppen wird sich aber die Monier-Bauweise wegen der Elastizität der Stufen wohl nicht eignen.

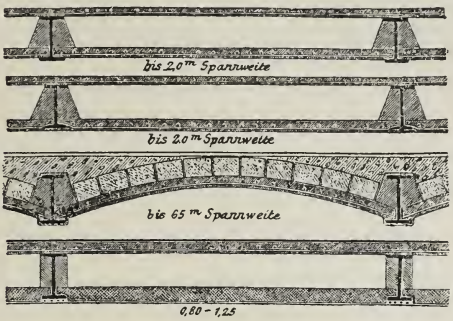
Die Abb. 309 und 310 zeigen „feste“ Treppen in Monier-Bauweise. Die Konstruktion nach Abb. 309, bei welcher eiserne Träger und Beton mit verwendet sind, ist vielfach ausgeführt, u. a. im Proviantamt zu

Abb. 302, 303, Kuppel über dem Mausoleum Kaiser Friedrich's in Potsdam.



Berlin und in der Glasfabrik zu Stralau. Die Treppe nach Abb. 310 ist zwar in ihrer Konstruktion ähnlich wie die vorbeschriebene, doch ohne eiserne Wangen; Ausführung im Garnison-Lazareth zu Tempelhof bei Berlin. In beiden Konstruktionen sind die an Ort und Stelle geformten

Abb. 304—307, Zwischendecken (mit Fussboden).



Monier-Boden.
Monier-Platten.
Monier-Boden.
Monier-Platten.
Cementboden.
Ausfüllung.
Korksteine oder Gipsdielen.
Monier-Kappe.
Linoleum-Belag.
Monier-Boden.
Gipsdielen.
Putz.

Abb. 308, Zerlegbare feuerfeste Treppe in Monier-Konstruktion.

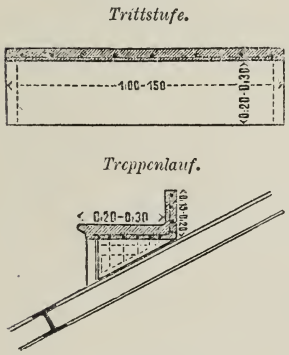


Abb. 309.

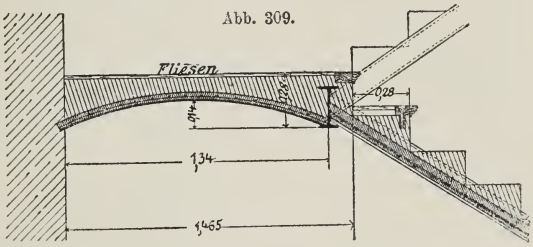
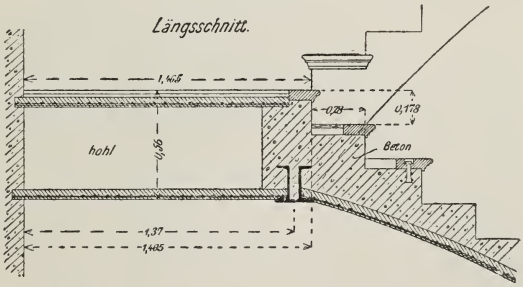


Abb. 310.



Betonstufen mit Holz belegt.

Brücken in Monier-Bauweise sind als Strassen-Brücken besonders in Oesterreich vielfach ausgeführt worden, dort ebenfalls auch für Lokalbahnen. Die Spannweiten gehen über diejenigen, welche man bei gewölbten Brücken gewöhnlich einzuhalten pflegt, theilweise weit hinaus. Wie die Monier-Brücken sich halten, wie sie sich überhaupt

in den Einzelheiten und im Ganzen bewähren werden, ist zur Zeit noch offene Frage. Die Dauer weniger Jahre, welche diese Brücken bisher hinter sich haben, ist unzureichend, um darauf einigermaassen sichere Schlüsse auf die Zukunft derselben stützen zu können.

Theilweise auch dieses Umstandes wegen kann die Vorführung bestimmter Beispiele hier unterbleiben und auf die bezüglichen Sonder-Veröffentlichungen der Aktiengesellschaft für Monier-Bauten, vormals Wayss & Co. in Berlin, verwiesen werden.

Namen-Register.

Dr. Adamy 69
Akademie des Bauwesens 37
Amagat 54
Amsler-Laffon 54
Architekten-Verein zu Berlin . . 37
Dr. Aron 43
Aspdin, Joseph 1

Bamber 139. 233
Bauschinger 80. 97. 98. 289
Becker 4
Bell, Immrie 279
Berliner Baumarkt 37
Bernays 73. 74. 206
Dr. Bleibtreu 2
Dr. Böhme 44. 87. 184
Bömches 123
Bounicèau 289
Brennecke 164

Candlot 17
Carey 139. 150. 233
Cay 123

Dr. Delbrück 106
Dyckerhoff, R. 65. 66. 67. 90

Engesser 93. 253. 254

Féret 138
Foy 145
Franzius 138. 164

Gassend 164
Giles 72
Goslich 274
Gutike 2

Hagen 164
Hauenschild 128
Heussner 273
Hutton 94. 158

Kayser & v. Groszheim 172
Keyle 96
Kinipple 108
Dr. Koch 69
Koch 98. 259
Koenen 13
Kommission zur Beaufsichtigung der techn. Versuchsanstalten . . . 37
Kreuter 145

Latour 164
Liebold 252
Dr. Lieven 60
Locher 98
Ludolff 273. 274

Mank 92
Meier 79. 80
Meister 98
Dr. Michaëlis 4. 34. 36. 233
Monier 12. 102. 288
Morris 241

Neumann 92

Parker, J. 1
Pasley 2
Plank 277
Poirel 74
Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin 37. 41. 44 57

Ranger 72

Schlierholz 185
Dr. Schumann 25. 79
Schwering 185
Dr. Seger 43
Sehring, B. 172
Smeaton, John 1
Smith 139. 233
Sonne 145. 164
Stadtbauamt Chemnitz 265
— Ulm 260
Stahl 126
Suchier 50. 122

Tetmajer 34. 54. 98
Dr. Tomëi 27

Vicat 1

Wagner 267
Wittfeld 278
Wolff 66

Orts-Register.

Aberdeen . 108. 109. 139. 199. 225. 232
Algier 74
Antwerpen 199
Argenteuil 199
Aschaffenburg 244
Augsburg 216. 218. 220

Berlin . . 144. 162. 168. 172. 224. 226. 270. 297
Biebrich 282
Bilbao 140
Boness 192
Borgoforte 199
Bornhöved 263
Boulogne 2. 140
Bradford 214. 216
Bremen 137. 138. 157. 191. 194. 207. 209
Breslau 165. 170
Brest 140
Buckie 235
Buenos-Ayres 176

Canarische Inseln 140
Cette 140
Charlottenburg 190. 221. 225
Chastellux 252
Chatham 192. 204. 206. 214
Chemnitz 265. 268
Coblenz 186
Cöln 143. 162. 180
Colombo 91. 96. 196. 231
La Corbière 279
Cork 197. 200

Dachau 211. 246. 248
Danzig 188
Dover 228. 229
Dresden . 51. 92. 187. 249. 250. 262. 263
Düsseldorf 267

Eddystone 1
Erfurt 269

Fontainebleau 276
Frankfurt a. M. 50. 123. 163. 223. 271-273. 278
Franziskaner, Zum, in Berlin . 172. 173
Fraserburgh 233
Fürstenried 242

Gartenau 2
Geestemünde 207
Georgs-Marien-Hütte 144. 162
Girvan 108
Göggingen 219. 223
Görlitz 280
Greenock 201

Hamburg 167. 178. 188. 189. 190. 191. 193. 195
Hampton 241
Hannover 273
Hauenstetten 219. 222
Havre 109. 178
Hof 246
Holzminden 277
Hongkong 237. 239
Hull 201

Immenstadt 215. 217
Jersey 109

Karlsruhe 268
Kempten 149
Kiel 202
Kilburn 240. 241
Künstlerhaus zum St. Lucas . 172. 174

Lauffen 177
Leipzig 269
Liebschütz i. S. 189
Lima 276
Limerick 192
Lincoln 195
Lindenhof 249. 251
London 72. 204
Lorenzdorf 258
Lowestoft 194
St. Lucas, Künstlerhaus in Charlottenburg 172
Lyon 54

Magasin du Printemps zu Paris, . . 189
Magdeburg 162. 187
Mainz 168. 223. 267
Mannheim 49. 162
Marseille 153. 199
Meerane 266
Montreal 165

Mormugao 158
München 242

Neufahrwasser 148
Newhaven . . . 133. 147. 150. 164. 193. 233. 235
Norddeich 236
Noworossisk 2
Nürnberg 264

Odessa 229
Osnabrück 144. 162
Ossegg 178

Paris 189. 276
Perlmoos 2
Pevensey 71
Ploen 263
Plumpstead 240
Plymouth 109
Port Elizabeth 140
Port Vendres 140. 229. 230
Portsmouth . . . 91. 204. 206. 207. 209
Portsoy 233

Reichenbach i. V. 243
La Réunion 140
Richmond 71
Rochester 71
Rosenheim 216. 219

Sachsenhausen 274
Salzuflen 253
Sandhaven 233
Southampton 72
Stettin 237

Toulon 199
Triest 123
Tynemouth 151

Ulm 212. 215. 259. 260

Vorwohle 252

Weisenbach 276
Wick 109
Wicklow 233
Wiesenbad 210
Wilhelmshaven 158. 187
Woolwich 240
Worms 246

Ymuyden . . . 141. 150. 158. 227. 228

Züllchow 2. 274
Zweibrücken 160

Sach-Register.

Abdeckungen aus Beton . . . 177
Abdeckungsquader 212. 213
Ablagern von Portland-Cement, s. Lagerung.
Abmessen und Abwiegen der Mörtelbestandtheile 62. 123
Abnutzungsfestigkeit 24. 86
Abscherungsfestigkeit . 96. 97. 266. 267
Adhäsionsfestigkeit 24. 86. 130
Anfertigung der Probekörper . 41. 42
Anfeuchten von Beton u. Cementarbeiten 70. 138
— der Betonmaterialien 134
Anmachen von Beton unter Wasser 108. 109
Anmache-Wasser; Einfluss der Beschaffenheit desselben auf den Beton 122. 123. 140. 233
Anstrich und Bemalung von Portland-Cement . . . 16. 67—69. 285
Aquadukte aus Beton: von Lima, über die Murg, der Vanne-Wasserleitung 76. 276. 277
Arbeiten des Betons 79. 138
Arbeits-Apparat beim Betoniren 115. 117. 131.
Arbeitsboden in der Gera-Greizer Kammgarnspinnerei 267
Architekturtheile aus Cement und Beton 8. 72. 104. 177. 186
Asphaltplatten als Gelenke in Betongewölben 259
Ausbeute an Cement-Mörtel 63. 126. 128
— an Cement-Kalk-Mörtel . . . 66
— an Beton 127
Ausdehnungskoeffizienten von Eisen und Cement 13. 79. 289
— von verschiedenen Bausteinen 80. 81
Ausrüsten von Betongewölben . . 257
Ausschläge auf Cement . . . 266. 285
Auswahl des Cements 59
Auswaschen des Mörtels aus Beton („Entmischen“) 107

Bandeisen-Einlagen 111
Bausande; Verschiedenheiten mit Bezug auf die Mörtelfestigkeit (s. a. Mörtelsand und Sand) 59. 61. 91. 92. 96. 122. 139. 162. 171. 172. 180
Begriffs-Erklärung v. Portl.-Cement 17. 34. 37
Behälter aus Cement 15. 75. 101. 186. 238—250. 253. 293. 294
Beimengungen, zum Mörtelsand . 59
— thonige, lehmige zum Sand . 59
— organische, torfartige 60
— verfälschende 33
Bemalung von Cementputz 16. 69. 285
Bereitung von Cement-Kalk-Mörtel 66. 67
Beschränkung der Normenprüfung auf Portland-Cement 58
Beton, Abscherungsfestigkeit 96. 97. 266. 267
— Anforderung an das Stein-Material 121
— Arbeiten 82. 138
— -Ausbeute 127. 128
— Ausführungen im Hochbau 4—6. 9—12. 71. 102 - 104. 177. 185. 186. 277
— Begriffserklärung 71
— Benutzung bei Luftdruck-Gründungen 198
— Bereitung und Verarbeitung 121. 130
— Biegungsfestigkeit 93. 94
— Druckfestigkeit 90. 91. 92
— Eigenschaften 78
— Eignung für besondere Zwecke 102. 185. 186
— Einfluss der Wassermenge . 111
— Einpacken von Steinen 124. 130. 136. 198. 203. 232. 238. 239. 252
— Eiseneinlagen 13. 111. 175. 189. 288—290
— Elastizität 93. 253. 290
— Entmischung 106
— Festigkeit 89
— Formungsfähigkeit 78. 100
— Geräthe zum Schütten 152
— Geschichtliches 116
— Gewicht 98
— zu Gewölben und Kappen 138. 159. 251—265

Beton, magerer, dichter, satter 95. 99. 112. 113. 125. 126. 130. 133. 135. 138. 139. 204. 208. 225. 232. 236.
— Materialbedarf 91. 95. 124. 126—128
— Materialbeschaffenheit . . 121. 124
— Menge . . . . . 124—130
— Mischung-Verhältnisse 89. 90. 91. 123—130
— Mörtelmenge 99. 124
— plastischer 107
— Scherfestigkeit . . . 96. 97 266. 267
— Schutz gegen Auswaschen des Mörtels 107. 109
— zu Strassenbau-Zwecken 168. 170. 186
— Verwendungs-Formen und vergleichende Beurtheilung derselben . . . 105. 113. 114. 117. 120
— Vorzüge im Vergleich zu Mauerwerk . . . . . 78. 99—104
— Wasserdichtigkeit . . . 138. 139. 237—250
— Widerstand gegen hohe Temperaturen . . . 29. 88. 89. 270. 290
Betonbau, Einfluss der Oertlichkeit 100. 101
— besondere Eignung für Gasbehälterbassins und Wasserreservoire 101. 186
— Raschheit der Erhärtung . . . 101
— Tagesleistungen und Zeitdauer der Ausführung 100
Betonbauten, älteste bekannte . . 71
— Rücksichten bei der Anwendung und Formgebung . . . . . 82—85
— Sicherheitskoeffizienten . . 183. 185
Betonbereitung . 75. 108. 121. 130. 131. 134
— auf Fallwerken 131
— von Hand 131. 134. 135
— auf Maschinen (s. a. Betonmaschinen) . . . 131. 142. 145. 146
Betonblöcke, . . 71. 74. 78. 79. 85. 100. 105. 115—117. 227
— Erhärtungsdauer 141
— Grössen 74. 140
— Herstellung 140. 141
— Lagerung 141
— mit lehnender Stellung . 227. 232
— schwimmfähige 141
— Transport 141
— Versetzung und Verstürzung 116. 142. 157. 159. 228
Betonbetten, auf Zugfestigkeit beansprucht 110
Betonbrücken im allgemeinen . 75. 103
Betonbrücke, über die grosse Blau 260
— bei Bornhöved 263. 264
Betonbrücke bei Erbach (mit Gelenken) 258. 259
— über die Isère und den Lawale 258
— am Vestner-Thor in Nürnberg 264
— über die Weisseritz . . . 261. 262
Betonbrunnen-Fundirung . 195—198
Betondecken; Auftragen von Kalk- oder Gipsputz 275
— Belastungsproben 266. 267. 269. 271. 272
— mit Linoleum- (Fussboden)-Belag 273. 274
— Parkett-Fussboden darauf 273. 274
— — gerade 271
— — nach Ludolff und Heussner 273. 274
— — im Opernhause und den Bahnhofswerkstätten zu Frankfurt a. M. 272
— in einem Krankenhause zu Carlsruhe 268
— im Schlacht- und Viehhof zu Chemnitz 269
— im Erfurter Bahnhofs-Haupt-Gebäude 269
— im Lagerhause in der Kaiserstrasse zu Berlin 270
— im Leipziger Gewandhause . . 269
— im Volksschulgebäude zu Sachsenhausen 274
— im Wohnhause Goslich zu Züllchow 274
— Vorzüge 11. 102. 265. 270
Betongewölbe; Form 255. 257
— für hohe Belastung . . . 264. 270
— Herstellungsweise in Ringen oder Streifen 256
— Lage der Stützlinie . 254. 255. 271
— Lehrgerüste und Ausrüstung 256—258
— Probebelastungen . . 266. 267. 272
— Sicherheits-Koeffizienten 253—266
— statische Verhältnisse, Deformationen . . . . . 253—257
— Vorzüge 251
Betonkästen 152
Betonmaschine, im allgemeinen . . 132
— von Kunz 149
— eintrommelige v. Neufahrwasser 148
— — fahrbare von Newhaven (Carey & Latham) 150
— von Ymuyden 150
— zweitrommelige von Kiel . . . 146
— — von Schlickeysen 147
— von Latham 147
— von Messent 151. 235
Betonplatten-Fundirung . . . 188. 189
Betonquadern 223
Betonröhren und Kanäle 14. 75. 175. 176
Betonschotter 121. 126. 161

Betonschüttungen im allgemeinen 107—115
— zu Fangedämmen 100
— bei Fundirungen . . 100—102. 186
— auf beweglichem Grunde . . . 130
— für Molen und Wellenbrecher 84. 138. 225—236
— zu Quellendichtungen . 177—179
Betontreppen . . 10. 277. 281. 283. 288
Betontrichter 152. 155
Betonüberwölbung des Pleissebachs in Chemnitz 265
Betonunterlage für Asphaltstrassen, Stein- und Holzpflaster . 168—170
Betonversenkung . . . . . 152—157
Bindezeit 20. 38
Blei in Berührung mit Cement . 286
Blockzangen 158
Bojen-Verankerung 210
Brausebäder zu München und Frankfurt a. M. in Monier-Bauweise 294
Brechmaul-Weite 162
Brücken in Monier-Bauweise . 14. 299
Brückenpfeiler-Unterfangung . . . 194
Brückenwiderlager-Verankerung . 208

Capillar-Attraktion 133
Cement, physikalische Beziehungen zu Eisen 13. 288
— chemische Zusammensetzung 17. 18
— rasch bindender . . . 40. 108. 130
— Verhalten beim Lagern . . 27. 73
— — gegen Alkalien 28
— — — chemische Einflüsse 26. 27. 28
— — — Blei und Zink 286
— — — fette Oele 29
— — — feuchte Luft 27
— — — Gerbsäure 29
— — — Frost 88. 89
— — — Haloidsalze 28
— — — hohe Temperaturen 29. 30. 88. 89. 270. 290
— — — Kanalwässer 29
— — — Kohlensäure 27
— — — kohlensaure Alkalien . . 28
— — — Mineral-Oele 29
— — — Säuren . . . 14. 27. 28. 175
— — — Theer 29
— gegen überschüssiges Wasser . 27
— Wärmeleitung 185. 289
Cementdielen 177
Cementfliesen 8. 9. 171
Cement-Kalk-Mörtel 15. 16. 62. 65—67. 130
Cementmörtel; Ausdehnung (Arbeiten) 80. 138. 289
— Haftfestigkeit an Eisen . . 288. 290
— nothwendige Voraussetzungen zweckmässige Anwendung 286. 287
Cementmörtel, zum Fugenverstrich 285
— — Verlegen von Fliesen . . . 285
— von besonderer Festigkeit . . . 62
— wasserdichter . . . 62. 67. 139. 287
Cementputz, Anstrich u. Bemalung 16. 67—69. 285
— auf Mauerwerk und im Innern von Gebäuden . . 180. 181. 285. 287
Cement-Sand-Proben 41. 42
Cementwaaren . 164. 170. 172. 174. 175
Cirkus- u. Dioramen-Bau in Leipzig 296
Coblenzer Rheinbrücke . . . 186. 187

Dach in Monier-Bauweise in der Glasfabrik zu Stralau . . . 14. 297
Dachpfannen und Dachplatten . . 172
Dächer aus Cement und Beton 10. 278. 284. 285
Dampfhammer-Fundamente . 190. 210
Dampfkessel-Haus am Petersen-Kai in Hamburg 190
Dampfmaschinen-Fundamente . . 210. 211. 213
Dampfprobe 43
Dampfschornsteine aus Beton 88. 280
Decken aus Beton . 10. 11. 12. 102. 265—275
— in Monier-Bauweise 14. 102. 297. 299
Dichtungen mit Cement und Beton 177. 180
Dickflüssigkeit v. Cementproben 38. 43
Dockmauern 203
Drehbrückenpfeiler-Fundirung . . 193
Dresdener Wasserwerke, Maschinenhaus-Fundirung 187
Druckfestigkeit von Cement und Beton 39. 42. 49. 86. 90. 91. 92. 95. 96. 184
— — sächsischem Elbsandstein . 93

Eignung des Betons für Bauzwecke und Baugegenstände im allgemeinen 15. 99. 100
— für Deckenkonstruktionen 10—11. 12. 102. 265. 266
— der Monier-Bauweise . . 14. 297
Einpackung von Steinen in Beton 124. 130. 136. 198. 203. 232. 238. 339. 252
Einrichtungen; besondere zur Betonbereitung und Verarbeitung 163. 164
Einrüsten von Betongewölben 159. 160. 270
Eisbehälter 250. 293
Eisen, Haftfestigkeit an Cement 288—290
— Ummantelungen aus Cement . 289
— Ausdehnungskoeffizient . . 79. 286
Eisenbahnbrücke am Red Rock . 210
Eiseneinlagen in Cement und Beton 13. 175. 289. 291

Eiskanal zu Kaufbeuren 215
Elastizität von Cement und Beton 93. 130. 184. 253. 255. 290
Entmischung von Cement und Beton . . . . . 106—109
Entwässerungskanal in Chatham Dockyard 214. 217
Erddamm mit Betonkern 237
Erhärtung von Cement; chemische, physikalische und mechanische Einflüsse, welche dabei betheiligt sind 21. 22. 23. 28. 39
— bei Erschütterungen 261
Erhärtungsdauer von Betonblöcken 141
Erklärung des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten . . 34
Estrich auf Betondecken . . 268. 274
— aus Cement . 10. 85. 164. 166. 177. 268. 274
— in der Frankfurter Milchkuranstalt 167
Fabrikschornsteine . . 88. 89. 279. 280
Façadenputz 9. 287
Fallhöhe bei Betonschüttungen . . 130
Fallwerke zur Betonbereitung . . 131
Fangedämme aus Beton . 79. 186. 187
Farben zum Cementfärben 32. 33. 170
Festigkeit von Cement und Beton gegen Zug, Druck, Abscheren, Abnutzen 23. 40. 86. 98
Festigkeitskoeffizienten . . 183—185
Festigkeitsproben nach den Normen . . . . . 39—43
Feuchtigkeit, Abhaltung von Mauerwerk und Holz . . . 181. 184. 286
Filter des Wasserwerks zu Worms 245. 246
Fliesen aus Cement und Beton . . 8. 9. 103. 171
Flussgeschiebe als Betonmaterial 121
Formen (auch Grösse) der Probekörper . . . . . 39—44. 183. 184
— von Cementwaaren; auch Formkästen . . . 105. 141. 166. 175. 176
Füllkanal für ein Trockendock in Chatham 214
Fugenfüllung bei Betonblöcken . 142
Fugenverstrich aus Cementmörtel von Mauerwerk und Fliesen . . 285
Fundamente für Maschinen und Dampfhämmer . . . 190. 210. 213
Fundirungen mit Beton im allgem. 76. 186
— — Betonplatte 188
— — Brunnen 194. 195. 198
— — Kästen 194
— — Röhrenpfeilern 194. 195
— — Druckluft 198
Fundirung mit Betonbrunnen zu Colombo, Cork und Glasgow 196. 197
— des Börsengebäudes zu Hamburg 188
— von Brückenpfeilern zu Argenteuil, Borgoforte, Coblenz, Hamburg, Magdeburg 186. 187. 191. 193. 199
— — Dampfhämmern . . . 190. 210
— eines Dampfkesselgebäudes in Hamburg 190
— der Garnison-Waschanstalt in Danzig 188
— des Geschäftsgebäudes der Deutschen Bank in Hamburg 188
— von Kaimauern zu Aberdeen, Antwerpen, Bremen, Cork, Hamburg, Lowestoft, Marseille, Wilhelmshaven . 187. 191. 193. 195. 197. 199. 200
— — Maschinenhauses der Dresdener Wasserwerke 187
— der Nikolai-Kirche in Hamburg 189
— d. Kirchthurms zu Liebschütz i. S. 189
— des Magasin du Printemps zu Paris 189
— der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt 190
— des Rathhauses in Hamburg . . 190
— des Speichers am Kaiserkai in Hamburg 191
— der Trockendocks zu Kiel, Toulon 199. 202
Fussboden aus Beton; im Eisenwerk von Nagel & Kaemp zu Hamburg 167
— — — in der Markthalle IV. zu Berlin 168
— — — in der Zollfreien Niederlage zu Mainz 168
Gasbehälter-Bassins aus Beton 75. 101. 138
— — zu Dresden und Wiesbaden 249
Geräthe usw. zur Beton-Bereitung und Verarbeitung 131. 137. 142—164
— zum Schütten von Beton unter Wasser 152. 157
— — Versetzen von Betonblöcken 157
Geschichtliches über Cement und Beton 1. 71
Gewicht von Beton 98. 110
Gewichtstheile bei der Mörtel- und Betonbereitung 62. 123
Gewölbe aus Beton . . . 74. 251—265
— in Monier-Bauweise . . . 14. 299
— aus lagerhaften Bruchsteinen 252. 253
— Schutz gegen Feuchtigkeit . . 182

Gipszusatz zum Cement . . 26. 32. 35.
Glühprobe 43

Hängeeisen 159. 160. 270
Häuser aus Beton . . . 12. 185. 277
Hafendamm zu Wicklow 233
Hafenerweiterungen zu Chatham u. Portsmouth 72. 73
Hafenwerke bei Norddeich . . . 236
Haftfestigkeit von Cementmörtel an Eisen . . . . . 13. 175. 288—290
Hammerapparat von Dr. Böhme 44. 47
Hebelpresse von Schickert 49. 51—53
Hohlräume in den Betonmaterialien 90. 99. 124—126
Holländer-Anlage zu Dachau 246. 248
Holzbalken-Decken unter Badewannen; Schutz gegen Feuchtigkeit 180
Holzcementdächer 284
Holzfussboden auf Beton 11. 268—270. 273. 274. 282

Isolierschichten aus Cement . . . 180
Jahreszeiten, geeignete für Herstellung von Cementputz . . . 68

Kaimauer aus Beton; zu Boness, Bremen, Chatham, Geestemünde, Hull, Limerick, Portsmouth . 74. 84. 138. 191. 192. 201. 203. 204. 207. 209
Kaimauer-Fundirungen zu Antwerpen, Bremen, Hamburg, Marseille 191. 195. 199
Kalk-Cement-Mörtel 15. 16. 62. 65. 66. 67. 130
Kalk-Gehalt im Portland-Cement . 26
Kalk-Humus-Seife 60
Kalkstein-Sand 59
Kanäle aus Beton (s. auch Röhren aus Beton) 14. 75. 175. 176
Kappen in Monier-Bauweise . 14. 299
Kastenschüttung . . . . . 152—155
Kellerfussboden . . 10. 138. 167. 168
Kies als Betonmaterial . 91. 112. 121. 122. 157
Kirchthurm der Nikolaikirche zu Hamburg, zu Liebschütz . . . 189
Kirchthurmspitze aus Beton zu Görlitz 280
Kochprobe 43
Kochsalz als Zusatz zu Cementmörtel 30
Koke als Betonmaterial . . . 120. 165
Kollergänge 132. 143
Kontrolle über die Beschaffenheit des Portlandcements . . 6. 8. 35. 36
Kontrollapparat zum schweizerischen Normalapparat 56
Kornform und Korngrösse der Mörtel- und Betonmaterialien 60. 90. 92. 122

Krähne zum Versetzen von Betonblöcken 164
Kühl- und Klärbassin zu Hof 246. 247
Kunststein, Kunstsandstein 8. 175. 186
Kuppel über dem Mausoleum für Kaiser Friedrich zu Potsdam in Monier-Bauweise 295

Lagerplatzgrösse für Betonblöcke 141
Lagerung v. Portlandcement 19. 26. 27
Lahnschleusen 223. 226
Landebrücken zu Lowestoft und Greenock 194. 197. 201
Lennébrücke 252
Leuchtthurm von Eddystone und von La Corbière 1. 279
Luftmörtel aus Cement . . 64. 67. 287

Magerung des Cementmörtels als Mittel, um denselben wetterbeständig zu machen . 25. 64. 65. 68
Magnesia-Cement und Magnesia-Treiben 18. 26. 35. 58
Malgrund auf Cementputz . 16. 67—69
Maschineller Apparat beim Betonbau . . . . . 101. 117. 142—164
Maschinenfundamente aus Beton 187. 210
Materialantheile bei sehr trocknem und sehr nassem Beton 111. 112. 129. 133. 135
Materialbedarf zum Beton . . 91. 95. 123—129
Mauern, feuchte trocken zu legen 180. 181
Mauerbekrönungen 177
Medway-Thon 2
Messgefässe 62. 123. 133
Mörtel von hoher Festigkeit . . 61
— — hohem Widerstand gegen Abnutzung 61. 87
— wasserdichter 62. 139. 180. 181. 250. 287
— zum Cementputz 68
Mörtelausbeute 63. 64. 126
Mörtelbereitung; Art und Weise; Kosten . . . . . 62. 134. 142—145
Mörtelmaschinen . . . . 63. 142—145
— der Georgs-Marienhütte . . . 144
— von Schuhmacher 143
— trogförmige 144
Mörtelmenge im Beton . 99. 111—113
— in verschiedenen Mauerwerksarten 99
— bei der Nassbetonirung . 111—113
— abhängig von der Abbindezeit 62. 131
Mörtelmischungen (s. a. unter Beton) 61
Molenbauten, statische Verhältnisse 224. 227

Molenbauten aus Beton 84
Molen zu Bilbao, Buckie, Fraserburgh, Portsoy, Sandhaven, Tynemouth, Ymuyden . . . . 227—230. 233. 235
Monier-Bauweise 12. 13. 103. 288—300
Mosaikfliesen 171

Nassbetonirung 105. 106. 110—113. 117. 120. 202
Normalapparat, schweizerischer . 54
Normalsand 41. 43. 44
Normen, Wortlaut, Entstehung und Weiterbildung 7. 36. 37. 43
— Nichtanwendbarkeit auf andere hydraul. Bindemittel 58

Oberflächen - Beschaffenheit des Mörtelsandes 61. 122
Oelfarbenanstrich auf Cementputz 16. 67—69. 285

Pfeilerfundirung bei Argenteuil, Borgoforte, Hamburg . . . 191. 199
Pflanzenkübel aus Beton 13
Pfosten aus Beton 177
Plastischer Beton 107, 108
Platten u. Plattenbelag 10. 85. 164—166
Polychromcement 69
Portlandcement s. Cement
Preisvergleiche zwischen Mauerwerk und Beton 73. 205
Proben und Probekörper 42. 50. 183. 184
Probebelastungen von Betongewölben 266. 267
Produktion der deutschen Portlandcement-Industrie 3
Prüfung von Cement und Beton 36—43. 86—97.
Pumpenbetrieb bei Trockenbetonirungen 113
Putz, wasserdichter 62. 139. 180. 181. 250
Putzarbeiten bei Frostwetter . . 30. 34

Quader aus Portlandcement . . . 9. 10
Quellendichtung . . . . . 177—179

Raschbinder; besondere Eignung derselben zu bestimmten Zwecken 20. 59. 130
Raumtheile bei Mörtel- und Betonmischungen 62. 123. 133
Reservoire, Betonmischung und Abputz 250
Reservoir für Aschaffenburg . . . 244
— — Schloss Fürstenried . . . 242
— der Grand Junction Wasserwerke zu Kilburn u. Hampton 240. 241
— der Wasserwerke von Hongkong, München, Plumpstead, Reichenbach i. V., Woolwich, Yokohama 238—243
Röhren aus Beton . . . 65. 175. 176
Röhrenpfeiler-Fundirung . . 194. 195
Rohmaterialmenge zu Schotter . 161
Rohrkanäle zu Chatham und Immenstadt 214. 215. 217

Sackblöcke 109. 119. 164. 227. 233. 235
Säcke zur Betonversenkung . . . 154
Sandantheil bei Beton und Beziehungen zur Festigkeit 90. 91. 95. 112
Sandsieb 161
Sandtöpfe 258
Sandwasch-Maschine 60
Saumschwellen aus Beton 177
Schalbretter für Betongewölbe . . 160
Scherfestigkeit von Cement . . 96. 97. 266. 267
Schichtenhöhe bei Stampfbeton und bei Beton-Schüttungen 114. 135
Schichten-Anordnung bei Nassbetonirungen und bei Gewölben 114. 115. 256
Schiffahrtsschleusen aus Beton 76. 201. 204—206
Schleusenböden und Schleusenmauern 138. 203
Schornsteine aus Beton . . . 280. 281
Schotter aus natürlichem u. künstlichem Stein 121
— Herstellung m. Maschinen . . 161
— Menge im Vergleich zum Rohmaterial 161
— Sorten nach der Korngrösse geordnet 161
Schüttung - Einrichtungen beim Betoniren 114. 115
— mit Kasten, Säcken, Trichtern 107. 152—157
Schwimmbassins; Dichtung mit Cement 180
Schwimmblöcke 141
Schwinden von Cementmörtel und Schwindrisse 25. 26. 43. 59
Schwingsieb 162
Seebauten; besondere Anforderungen an den Mörtel dazu 64. 225—232
Seewasser (Meerwasser), Einfluss auf Abbinden und Erhärten von Cement . . 20. 23. 64. 122. 225. 232
Sicherheitskoeffizienten für Betonbauten 183
Spülbassin in Bremen 293
Spreewehr bei Charlottenburg 221. 225
Stampfbeton 11. 75. 103. 120. 127. 135. 140
Stampfen von Beton; Stampfer und Stampfmaschine 136. 137
Steinbrecher 161. 162
Steinverkleidung von Betonmauern 203

Stereochromische Bemalung von Cement 69
Stützmauern aus Beton . . 212. 215

Terrazzo und Terrazzo-Fliesen . . 171
Thalsperre der Wasserwerke von Hongkong 237
Theerzisterne zu Lindenhof . 249. 251
Thurmhelme aus Beton 280
Transport von Beton 135
Treiben von Cement, Treibrisse und Unterscheidungsmerkmale (s. a. Volumenbeständigkeit) 25. 26. 39. 43
Treppen aus Beton . 10. 277. 281. 282
— aus Beton und Wellblech 281—283
— in Monier-Bauweise . . . 297. 299
Trichterschüttung . . . . . 155—157
Trockenbetonirung 105. 106. 111. 113. 114. 117—120
Trockendock 138. 201
— in Chatham, Portsmouth . 204. 206. 207—209
— -Fundirung in Kiel, in Toulon 199. 202
Trockenlegung feuchter Mauern 10. 180 181
Trommeln der Betonmaschinen 145. 146
Tunnel in Monier - Bauweise zu Königsberg 294
Turbinengerinne zu Augsburg, zu Göggingen, zu Hauenstetten, zu Rosenhein . . . . . 216. 218—223

Ueberwölbung des Pleissenbachs in Chemnitz 265
Uferdeckwerk am Landwehrkanal zu Berlin, an der Unter-Elbe 223. 224. 226
Ufermauer, an der Elbe zu Hamburg, zu Newhaven . . . 193. 235
Ultramarin 33. 34
Umdrehungszahlen der Mörtel- und Betonmaschinen 145. 146
— der Steinbrecher 162
Ummantelung des Hochreservoirs zu Emmerich 295
Unterlage für Cementestriche 85. 165

Vanne-Aquadukt 76
Verankerung eines Brückenwiderlagers mit Beton 208. 209
Verarbeitungszeit von Mörtel und Beton 62. 121. 131
Vergleiche von Prüfungs-Ergebnissen usw. 44. 291
Verhältniss zwischen Zug- und Druckfestigkeit von Cement und Beton 13. 23. 24. 94. 288
Verhältniss zwischen Zug- und Abnutzungsfestigkeit 87
— — Zug- und Scherfestigkeit 97
Verlängerung der Bindezeit von Cement 19. 20. 27. 38
Verpackung und Gewicht von Cement 37
Versetzen u. Verstürzen von Blöcken 116. 157
Verwendung von Cement zu Architekturtheilen 5. 172. 177. 186
Verwendungsformen, vergleichende Beurtheilung 105
Viadukt von Chastellux 252
Volumenbeständigkeit . 24. 34. 39. 58. 79—82. 89
Vorguss 175

Wahl zwischen Nass- und Trockenbetonirung 105
Wände in Monier-Bauweise 14. 103. 290
Wärmeleitung von Cement . 185. 289
Wasserantheil in Beton und Mörtel 111. 133. 134. 139
Wasserdichter Mörtel und Beton 62. 67. 139. 285
Wasserkalk 71. 73
Wassermörtel 64
Wasserrad-Gerinne zu Kaufbeuren 215. 218
Wasserreservoire und ähnliche Behälter 250
Wasserthurm in Frankfurt a. M. 278. 279
Wehrbau Lohmen 292. 293
Wellblechtreppen . . . . . 282—284
Wellenbrecher im allgemeinen . 84. 225
— von Aberdeen, La Ciotat, Colombo, Dover, Hartepool, Odessa, Port Vendres . . . . . 228—236
Wellenschlag; Wirkungen desselben auf Betonbauten 139. 140
Werthermittelung, vergleichende von Mörteln 36
Wölbungen aus Beton in der Stärkefabrik zu Salzuflen 252
Wohnhäuser aus Beton 12. 185. 186. 277
Wohnhaus Plank in Holzminden . 276
Würfel aus Ziegel - Mauerwerk; Festigkeit 184

Zellenbauweise 84. 204
Zerreiss-Apparat . . . 48. 49. 51—53
Ziegelsteinschotter 121
Zugfestigkeit von Cement und Beton 94—96
Zusatzstoffe zum Cement 34

Wilhelm Greve's Buchdruckerei, Berlin SW.

10-B4205

GETTY CENTER LIBRARY
3 3125 00070 5919